

This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

446ca67d3a3097d20e639444e23766ae7a239e48f5dc4ee5e2220e8421b1a0ba

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

**MODEL PENDUGA MASSA KARBON HUTAN RAWA GAMBUT  
MENGUNAKAN CITRAALOS PALSAR (*Peat Swamp Forest Carbon Mass  
Estimation Models Using ALOS PALSAR Image*)\***

Tomi Yuwono<sup>1</sup>, I Nengah Surati Jaya<sup>2</sup> dan/and Elias<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IUPHHK-HTI PT. Intraca Hutani Lestari, CCM, Kabupaten Tanah Tidung, Kalimantan Utara

<sup>2</sup>Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan IPB

Jl. Raya Darmaga, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680; Telp. 0251-8621244

E-mail: tomiyuwono@gmail.com<sup>1</sup>; suratijaya@yahoo.com<sup>2</sup>; elias2956@yahoo.com<sup>3</sup>

\*Diterima : 28 Maret 2014; Disetujui : 2 Februari 2015

**ABSTRACT**

*Peat swamp forest has been recognized as ecosystem capable of storing up a large amount of carbon. This paper describes a development of carbon mass estimation models using active remote sensing data. The objective of this study was to develop carbon mass volume estimation model using active remote sensing, ALOS PALSAR data. The models were basically developed on the basis of relationship between mean carbon mass and ALOS PALSAR backscatter value of HH and HV and their synthetic bands derived from various pixel sizes, i.e., (a) 1 x 1 pixel, (b) 3 x 3 pixel and (c) 5 x 5 pixel. The study found a good correlation coefficients between the backscatter value and the stock of carbon. The study also showed that the best correlation was provided by HV, better than those obtained using HH and HH/HV. The study identified best model as  $\hat{y} = -5,337HV^2 - 111,8HV - 480,1$ ;  $R^2 = 0,86$  and 3x3 pixel*

*Keywords: Active remote sensing, Alos Palsar technology, peat swamp forest, carbon mass estimation model*

**ABSTRAK**

Hutan rawa gambut telah diakui sebagai ekosistem yang mampu menyimpan karbon hingga jumlah besar. Riset ini membahas pengembangan model estimasi massa karbon menggunakan data penginderaan jauh aktif. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan informasi hasil untuk pengembangan model estimasi volume massa karbon dengan menggunakan penginderaan jauh aktif, data ALOS PALSAR. Model dikembangkan atas dasar hubungan antara massa karbon rata-rata dan nilai *backscatter* ALOS PALSAR dari HH, HV dan band sintetik HH/HV yang berasal dari berbagai ukuran *pixel*, yaitu : (a) 1 x 1 *pixel*, (b) 3 x 3 *pixel* dan (c) 5 x 5 *pixel*. Studi ini menemukan bahwa koefisien korelasi yang baik ditunjukkan antara nilai *backscatter* dan stok karbon. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa korelasi terbaik diberikan oleh HV, korelasi tersebut lebih baik daripada korelasi yang diperoleh dengan menggunakan HH dan HH/HV. Studi ini mengidentifikasi model terbaik, yaitu  $\hat{y} = -5,337HV^2 - 111,8HV - 480,1$ ;  $R^2 = 0,86$  dan 3 x 3 *pixel*

Kata kunci : Penginderaan jauh aktif, hutan rawa gambut, model pendugaan massa karbon

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil pada kegiatan manusia menghasilkan gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), Metana (CH<sub>4</sub>), Nitrous oksida (N<sub>2</sub>O), Hydrofluorocarbons (HFCs), Perfluorocarbons (PFCs) dan Sulphur hexaflorida (SF<sub>6</sub>). Gas-gas tersebut terkumpul di atmosfer dan menyerap serta memantulkan baik radiasi gelombang pendek maupun sinar matahari. Efek tersebut disebut efek rumah kaca yang akan menimbulkan

pemanasan dan perubahan iklim global (IPCC 1995). Hutan memiliki jasa lingkungan yang penting dalam memindahkan CO<sub>2</sub> dari atmosfer melalui fotosintesa dan menyimpan dalam bentuk biomassa, dimana didalamnya mengandung karbon.

Salah satu tipe hutan adalah hutan rawa gambut yang merupakan tutupan hutan pada lahan gambut. Menurut KLH (2010) luas lahan gambut di Indonesia sekitar 32.656.106 ha, dengan rincian pulau Sumatera seluas 10.888.199 ha,

pulau Kalimantan seluas 10.385.047 ha, pulau Sulawesi seluas 611.152 ha, pulau Papua 10.682.262 ha dan pulau Jawa 89.446 ha. Hutan rawa gambut mempunyai peran dalam penyimpanan massa karbon. Suwarna *et al.* (2012) yang meneliti di hutan rawa gambut pada kawasan konsesi Ijin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan–Hutan Alam (IUPHHK-HA) PT. Diamond Raya Timber (PT. DRT), menemukan bahwa kandungan massa karbon vegetasi di empat kondisi hutan rawa gambut, yaitu diduga sebesar 189,45 ton C/ha pada hutan primer, 161,76 ton C/ha pada hutan bekas tebangan, 139,05 ton C/ha pada hutan sekunder dan 43,09 ton C/ha pada hutan terdegradasi. Hasil penelitian Yuniawati (2011) di lahan gambut dengan tutupan lahan tegakan *Acacia crassicarpa* di PT. Riau Andalan Pulp and Paper (PT. RAPP) Pelalawan, Riau, memiliki potensi massa karbon pada kelas umur 2, 3, 4 dan kelas umur 5 tahun berturut-turut diduga sebesar 12,09 ton C/ha, 36,23 ton C/ha, 76,09 ton C/ha dan 133,10 ton C/ha.

Sejalan dengan program *Clean Development Mechanism* (CDM) dari *Protocol Kyoto* atau pun program *Reduced Emissions from Deforestation and Degradation* (REDD+), diperlukan pengelolaan hutan rawa gambut dengan prinsip pengelolaan hutan lestari (PHL). Menurut Istomo *et al.* (2010), aspek penting pengelolaan hutan rawa gambut adalah sistem silvikultur, pengelolaan hutan produksi lestari, kepastian penggunaan lahan, ancaman penebangan liar, konversi lahan selain kehutanan dan bahaya kebakaran hutan.

Penelitian mengenai pengukuran biomassa dan massa karbon baik tingkat nasional maupun internasional telah banyak dilakukan, namun masih sebagian besar menggunakan pendekatan yang konvensional dan cenderung destruktif. Pengukuran kandungan biomassa atau pun massa karbon di atas permukaan tanah, antara lain telah dilakukan oleh

Brown (1997) di hutan tropis America, Afrika dan Asia, Segura dan Kanninen (2005) di Northern Costa Rica, Elias dan Wistara (2009) di Desa Jalagaya, Jasinga, Bogor. Suwarna *et al.* (2012) dan Istomo (2006) di konsesi kawasan hutan PT. DRT, Riau, Yuniawati (2011) di PT. RAPP, Riau dan pengukuran biomassa atau pun massa karbon bawah permukaan dilakukan oleh Kraenzel *et al.* (2003) di Panama, Peichl dan Arain (2006 dan 2007). Metode-metode pendugaan tersebut merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan pendugaan metode terestrial. Menurut Lu (2006), Vashum dan Jayakumar (2012), pendugaan terestrial adalah cara yang paling akurat untuk mengumpulkan data biomassa, tetapi membutuhkan waktu dan tenaga padat karya, dengan cakupan kawasan yang luas dan terpencil sulit diterapkan. Untuk mengurangi kekurangan metode terestrial, maka menurut Streck dan Scholz (2006) mengkombinasikan antara teknologi penginderaan jarak jauh (aerial) dan metode terestrial dalam pendugaan biomassa.

Di Indonesia pendugaan massa karbon hutan melalui pendekatan penginderaan jauh pada umumnya menggunakan data citra optis yang dihasilkan dari penginderaan jauh pasif dengan sensor optik, salah satunya menggunakan citra Landsat. Cara tersebut memiliki beberapa kelebihan, diantaranya dapat menghasilkan pendugaan massa karbon dengan biaya relatif murah dan menjangkau kawasan hutan yang luas. Namun pada proses pelaksanaannya di daerah tropis sering terhambat oleh kondisi tertutup awan pada musim hujan dan tertutup asap pada musim kemarau. Menurut Goetz *et al.* (2009) dan Ghasemi *et al.* (2011) banyak penelitian mengenai pendugaan biomassa menggunakan penginderaan pasif dengan kawasan yang lebih luas belum menghasilkan pendugaan yang konsisten, karena dipengaruhi kondisi lingkungan, yaitu keterbatasan sinar

matahari menembus vegetasi dan permukaan yang tertutup awan.

Perkembangan teknologi *Radio Detecting and Ranging* (RADAR) dapat mengatasi masalah tertutup awan dan asap. Data *synthetic aperture radar* merupakan sistem penginderaan jauh aktif yang menggunakan sumber energi buatan (*microwave*). Salah satu satelit yang menggunakan teknologi RADAR adalah ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*). Satelit tersebut dilengkapi PALSAR (*Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar*) yang dapat melakukan pengamatan lahan, baik siang maupun malam hari yang disebut Jaya (2010). ALOS PALSAR mempunyai hamburan balik (*backscatter*) dua polarisasi, yaitu HH (*Horisontal Horisontal*) dan HV (*Horisontal Vertikal*).

Menurut Avtar *et al.* (2013), Jaya *et al.* (2013), Achmad *et al.* (2013), nilai *backscatter* ALOS PALSAR berhubungan dengan nilai biomassa yang terdapat pada vegetasi. Massa karbon vegetasi terdapat pada biomassa, menurut penelitian Losi *et al.* (2003) di hutan tanaman tropis Costa Rica bahwa kandungan massa karbon dalam batang sebesar 48% dari biomassa batangnya, penelitian Elias (2010) di dalam biomassa hutan alam tropika tanah kering terdapat massa karbon sekitar 44% dan sekitar 49% massa karbon terdapat pada biomassa hutan rawa gambut tropika dan penelitian Djomo *et al.* (2011) di hutan Cameron bahwa hasil analisis kandungan karbon kayu rata-rata 46,53% dari biomasnya. Menurut JICA (2011) salah satu klasifikasi tutupan lahan hutan tropis Indonesia dengan citra Alos Palsar adalah hutan rawa gambut. Akhirnya nilai *backscatter* dari citra ALOS PALSAR diduga memiliki hubungan dengan nilai massa karbon yang dapat disusun menjadi model penduga potensi massa karbon. Keakuratan pendugaan massa karbon diperlukan allometrik lokal hutan rawa gambut tersebut. Menurut penelitian Elias dan Wistara (2009) menunjukkan

bahwa terdapat variasi kadar karbon di dalam biomassa tipe-tipe hutan, tidak hanya pada jenis dan struktur hutan tetapi juga sangat nyata pada bagian-bagian dalam satu pohon. Akibatnya penggunaan allometrik yang digunakan sesuai dengan kondisi hutan tersebut dan lebih akurat dengan allometrik dari lapangan tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan model pendugaan massa karbon hutan rawa gambut menggunakan teknologi ALOS PALSAR di PT. DRT dengan allometrik pohon lokal hasil penelitian Suwarna *et al.* (2012) di kawasan hutan tersebut. Model yang diperoleh diharapkan dapat menduga potensi massa karbon hutan rawa gambut tersebut dengan cakupan kawasan hutan yang lebih luas, cepat dan akurat.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Mei sampai Oktober tahun 2013 di kawasan hutan yang dibebani ijin IUPHHK-HA PT. DRT, Kabupaten Rokan Hilir dan Kota Dumai, Provinsi Riau. Letak geografis lokasi penelitian adalah  $100^{\circ}50' - 101^{\circ}13'$  Bujur Timur dan  $001^{\circ}45' - 002^{\circ}18'$  Lintang Utara. Pengolahan data citra dilaksanakan di Laboratorium Fisik Penginderaan Jauh, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.

### B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan penelitian merupakan data utama yang digunakan adalah citra ALOS PALSAR resolusi 50 m x 50 m tahun 2009 dengan polarisasi HH dan HV, data digital : batas kawasan, jalan dan sungai. Perangkat keras yang dipakai adalah seperangkat komputer laptop, printer dan scanner. Adapun peralatan lapangan yang digunakan adalah GPS (*Global Positioning System*), kompas, *phi band*, *clinometers* dan kamera. Perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan citra,

yaitu *ERDAS Imagine Ver 9.1*, *Arc View 3.2*, *Arc Gis 10* serta analisis data statistik menggunakan *Microsoft Excel*.

## C. Prosedur Kerja

### 1. Pra Pengolahan Citra

Pra pengolahan Citra PALSAR adalah kegiatan dalam menyiapkan citra sampai siap dianalisis, yaitu :

- Mengunduh (*download*) citra, dari *website Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*, dengan alamat *website* : [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/kc\\_mosaic/kc\\_mosaic.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/kc_mosaic/kc_mosaic.htm).
- Koreksi citra ALOS PALSAR adalah mengubah file hasil *download* dari file RAW menjadi file IMG, mengoreksi koordinat dan proyeksi citra menjadi koordinat dan proyeksi geografis.
- Pembuatan band sintetis adalah penambahan band dengan rasio HH dan HV (HH/HV), sehingga terbentuk warna komposit. Rincian warna komposit tersebut adalah band HH sebagai *layer* warna merah, band HV sebagai *layer* warna hijau dan HH/HV sebagai *layer* warna biru.

### 2. Pengolahan Citra

Pengolahan citra terdiri dari tahapan berikut :

- Hasil citra komposit dari pra pengolahan citra (Nilai *Digital Number* (DN)) di konversi menjadi nilai *backscatter* dengan menggunakan rumus *Normalized Radar Cross Section (NRCS)*(Shimada *et al.* 2009):  
$$NRCS(dB)=10*\log_{10}(DN^2)+CF \dots(1)$$

Dimana :

NRCS = *Normalized Radar Cross Section*,

DN = *Digital Number*,

CF = *Calibration Factor*, yaitu -83.
- Citra yang telah memiliki nilai *backscatter* dilakukan *overlay* dengan titik plot ukur. Untuk menghindari bias sekitar titik plot, maka dilakukan

*buffering* dengan ukuran 1 x 1 pixel (50 m x 50 m), 3 x 3 pixel (150 m x 150 m) dan 5 x 5 pixel (250 m x 250 m).

- Nilai *backscatter* band (HH, HV, HH/HV) diekstraksisesuai dengan ukuran *buffer*.

### 3. Penghitungan Massa Karbon Plot Ukur

Penghitungan massa karbon plot ukur dilakukan sebagai berikut :

- Menggunakan data plot ukur hasil Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala (IHMB) sebanyak 847 plot ukur dan data dari 30 plot ukur permanen berukuran 20 m x 20 m.
- Menggunakan alometrik pohon lokal hasil penelitian Suwarna *et al.* (2012) di PT. DRT sebagai berikut :  
$$C = 0,087 D^{2,470} , R^2 = 96\% \dots(2)$$

Dimana : C= Massa karbon seluruh bagian pohon termasuk akar (kg/pohon), D= Diameter setinggi dada (cm).
- Hasil perhitungan massa karbon dari tiap-tiap plot ukur dikonversi menjadi potensi massa karbon C ton/ha.

### 4. Penyusunan Model Penduga Massa Karbon Hutan Menggunakan ALOS PALSAR

Penyusunan model dilakukan dengan membuat persamaan yang merupakan hubungan antara massa karbon plot ukur sebagai peubah tidak bebas (y), dengan nilai *backscatter* plot sebagai peubah bebasnya (x). Nilai *backscatter* terdiri dari: HH, HV, HH/HV, HH<sup>2</sup>, HV<sup>2</sup>, (HH/HV)<sup>2</sup> pada *buffer* ukuran 1 x 1 pixel, 3 x 3 pixel dan 5 x 5 pixel, sehingga terdapat 18 macam nilai peubah bebas. Tahapan proses penyusunan model yang terdiri dari : a. pengujian kenormalan data, b. penghitungan koefisien korelasi antara massa karbon dengan *backscatter*, c. penyusunan model matematik, d. pengujian model dan e.validasi model dan pemilihan model.

**a. Pengujian Kenormalan Data**

Pengujian kenormalan data adalah untuk mengetahui apakah data menyebar normal dengan bentuk data simetris atau berbentuk kurva lonceng. Kenormalan data dapat diperiksa dengan cara visual yaitu : histogram, QQ plot dan PP plot. Apabila tes visual sulit menunjukkan nilai normalitas data, maka digunakan uji Lilliefors dengan kriteria data normal adalah  $sig > 0,05$ .

**b. Penghitungan Koefisien Korelasi Antara Massa Karbon Dengan Backscatter**

Koefisien korelasi (r) adalah koefisien yang menjelaskan tingkat keeratan hubungan linier dari dua peubah atau lebih. Nilai koefisien korelasi berkisar antara -1 dan +1 ( $-1 \leq r \leq 1$ ), dimana bila nilai r mendekati nol, maka hubungan kedua peubah tersebut tidak linier dan semakin mendekati nilai 1 atau -1 hubungan kedua peubah semakin linier. Nilai r yang mendekati 1 mempunyai korelasi antar peubah bernilai positif dan peubah yang bernilai negatif memiliki nilai r mendekati -1 (Mattjik dan Sumertajaya 2013).

Koefisien korelasi massa karbon dengan backscatter dihitung dengan menggunakan rumus r sebagai berikut :

$$r = \frac{\left( \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \right)}{\sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right) \times \left( \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \right)}} \dots(3)$$

Dimana :

- r = Koefisien korelasi;
- x = Peubah bebas;
- y = Peubah tidak bebas;
- $x_i$  = Nilai x ke-i;
- $y_i$  = Nilai y ke-i;
- $\bar{x}$  = Rataan nilai x;
- $\bar{y}$  = Rataan nilai y;
- n = Jumlah x atau y.

Untuk menguji korelasi ( $\rho$ ) antara x dan y digunakan hipotesis sebagai berikut:

- $H_0: \rho = 0$
- $H_1: \rho \neq 0$

Korelasi signifikan/keberadaannya nyata apabila nilai P-value  $\leq \alpha$  ( $\alpha=0.05$ ).

**c. Penyusunan Model Matematik**

Model-model matematik yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Linier :  $\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x \dots(4)$
- Ekponensial :  $\hat{y} = \beta_0 e^{\beta_1 x} \dots(5)$
- Logaritmik :  $\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 \ln(x) \dots(6)$
- Polynomial :  $\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 \dots(7)$

Dimana :

$\hat{y}$  = Dugaan nilai massa karbon; x = Nilai backscatter (HH, HV, HH/HV, HH<sup>2</sup>, HV<sup>2</sup>, (HH/HV)<sup>2</sup>),  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = Koefisien parameter,  $\beta_0$  = Intersep,  $\beta_1, \beta_2$  = Kemiringan (gradien).

**d. Pengujian Model**

Model-model yang telah terbangun diurutkan berdasarkan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) dari yang terbesar sampai terkecil dan dipilih 15 model yang berdasarkan besarnya nilai R<sup>2</sup>. Nilai R<sup>2</sup> yang mendekati nilai 1, maka model memiliki peubah tidak bebas yang mampu menerangkan keragaman peubah tidak bebasnya.

Uji keabsahan model dilakukan sebagai berikut :

- 1) Uji koefisien dengan uji F dan uji t.  
 Uji F adalah untuk menguji pengaruh seluruh peubah bebas terhadap peubah tidak bebas. Kriteria uji F pada tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha=0.05$ ) adalah nilai F hitung < nilai F tabel dan P (F) <  $\alpha$ . Uji t adalah uji terhadap peubah bebas mana yang berpengaruh terhadap peubah tidak bebas dengan kriteria nilai P-value <  $\alpha$ , pada selang kepercayaan 95% ( $\alpha=0.05$ ).

2) Uji asumsi kuadrat terkecil

Parameter  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  dan  $\beta_2$  diuji dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*). Menurut Mattjik dan Sumertajaya (2013), prinsip dasar metode kuadrat terkecil adalah meminimumkan jumlah kuadrat simpangan antara nilai aktual dengan nilai dugaan. Model yang memenuhi asumsi kuadrat terkecil adalah model yang memiliki normalitas data, *non*-autokorelasi dan homokedastis. Menurut Pindyck dan Rubinfeld (1991) dan Nawari (2010), uji-uji terhadap model untuk memenuhi asumsi kuadrat terkecil adalah : a) uji normalitas (uji *Kolmogorof Smirnov*); b) uji autokorelasi (uji *Durbin Watson*) dan c) uji heterokedastisitas (*White Test*).

**e. Validasi Model**

Validasi model menggunakan data dari 30 plot permanen dengan uji validasi sebagai berikut : 1) *Chi-square*, 2) Simpangan Agregat (*Agregative deviation*) (SA), 3) Simpangan Rata-rata (SR) (*Mean deviation*), 4) *Root Mean Square Error* (RMSE) dan 5) bias (e).

1) *Chi-square* ( $X^2_{hitung}$ ) digunakan untuk menghitung rasio perbedaan nilai dugaan ( $\hat{y}$ ) dengan nilai aktual ( $y$ ). Kriteria *Chi-square* adalah bila  $X^2_{hitung} \leq X^2_{tabel(\alpha, n-1)}$ , hasil pendugaan model dianggap signifikan tidak berbeda nyata dari hasil pendugaan massa karbon plot ukur. Rumus *Chi-square* adalah sebagai berikut :

$$X^2_{hitung} = \sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}-y)^2}{y} \dots(8)$$

2) Simpangan Agregat (SA)

Simpangan agregat adalah selisih jumlah nilai aktual dan nilai dugaan sebagai presentase terhadap nilai dugaan. Persamaan yang baik memiliki SA antara -1 sampai +1. Nilai SA dihitung dengan rumus :

$$SA = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \hat{y} - \sum_{i=1}^n y}{\sum_{i=1}^n \hat{y}} \right) \dots(9)$$

3) Simpangan Rata-Rata (SR)

Simpangan rata-rata adalah jumlah nilai mutlak dari selisih antara jumlah nilai dugaan dan nilai aktual, proporsional terhadap jumlah nilai dugaan. Nilai SR yang baik adalah tidak lebih dari 10%. SR dapat dihitung dengan rumus :

$$SR = \left\{ \frac{\left| \sum_{i=1}^n \frac{\hat{y}-y}{\hat{y}} \right|}{n} \right\} \times 100\% \dots(10)$$

4) Bias (e)

Bias (e) merupakan kesalahan sistem seperti kesalahan dalam pengukuran baik, kesalahan teknis pengukuran maupun kesalahan karena alat ukur. e dapat bernilai positif dan negatif, nilai bias dikatakan baik apabila mendekati nilai 0. Rumus untuk menentukan e adalah :

$$e = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{(\hat{y}-y)}{n} \right\} \times 100 \% \dots(11)$$

5) *Root Mean Square Error* (RMSE)

Efisiensi selisih nilai dugaan dan nilai aktual memberikan nilai varian penduga yang mendekati nol atau rendah varian. Nilai RMSE yang paling rendah merupakan model yang baik. RMSE dihitung dengan rumus :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\frac{\hat{y}-y}{y})^2}{n}} \times 100 \% \dots(12)$$

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Sebaran Normal Data Dan Korelasi Massa Karbon Dengan Backscatter**

Sebaran data massa karbon mengikuti sebaran normal. Plot contoh data massa karbon sejumlah 841 plot. Hasil uji Lilliefors memiliki *P-value* sebesar 0,00, sehingga data belum memiliki sebaran normal karena nilai *P-value* < 0,05. Hasil uji *box plot* terdapat pencilan sebanyak 16 data plot yang harus dikeluarkan, sehingga data menjadi 831 data plot. Hasil uji Lilliefors dari 831 data plot menghasilkan nilai *P-value* sebesar 0,072



(*P-value* > 0,05), sehingga data tersebut dinyatakan memiliki sebaran normal dan dapat dilakukan eksplorasi data selanjutnya .

Hasil eksplorasi pola sebaran hubungan massa karbon dan *backscatter* menunjukkan pola sebaran dengan hubungan yang tidak beraturan yang disebabkan terdapat data pencilan dan nilai runtunan berulang (satu nilai *backscatter* berkorelasi dengan lebih dari satu nilai massa karbon). Kondisi data demikian menyebabkan nilai korelasi (*r*) yang dihasilkan sangat kecil. Menurut Draper dan Smith (1992), bila banyak terdapat data runtunan berulang, maka penyusunan model dapat dilakukan dengan menggunakan  $y = \bar{y}$  dari nilai *x* yang sama. Agar diperoleh nilai *r* yang cukup besar selanjutnya menggunakan nilai rata-rata massa karbon dari nilai-nilai massa karbon ( $\bar{y}$ ) yang nilai *backscatter*-nya (*x*) yang sama.

Hasil uji korelasi massa karbon dan *backscatter* menunjukkan, bahwa HV memiliki hubungan yang lebih erat dibandingkan hubungan HH/HV dan HH dengan massa karbon (Tabel 1). Korelasi terbaik HV tersebut sejalan dengan hasil

penelitian biomassa di Hutan Rawa Sarobetsu Mire Jepang Utara (Takada *et al.* 2009), penelitian biomassa di hutan alam, Kalimantan Tengah (Jaya *et al.* 2013) dan penelitian biomassa di hutan sekunder, kebun karet dan kebun kelapa sawit di Batanghari dan Muaro Jambi, Jambi (Achmad *et al.* 2013). Korelasi positif terjadi pada hubungan massa karbon dengan HH, HV, HH/HV dan (HH/HV)<sup>2</sup>, hubungan tersebut membentuk garis lurus dengan kemiringan positif yang artinya kenaikan nilai massa karbon diikuti oleh kenaikan nilai HH, HV, HH/HV dan (HH/HV)<sup>2</sup>. Hasil korelasi massa karbon dengan HH<sup>2</sup>, HV<sup>2</sup> membentuk garis lurus dengan kemiringan negatif. Penelitian lain dengan menggunakan ALOS PALSAR menunjukkan adanya korelasi positif antara biomassa dengan HH dan HV di Kuortane (Rauste *et al.* 2008) dan penelitian Qirom *et al.* (2012) di hutan tanaman *Accacia mangium*, Kalimantan Selatan juga menunjukkan adanya korelasi positif antara massa karbon dengan HH dan HV. Berdasarkan hasil korelasi tersebut dapat disimpulkan bahwa *backscatter* ALOS PALSAR dapat digunakan untuk pendugaan massa karbon.

Tabel (Table)1. Korelasi antara massa karbon dan *backscatter* (*Correlation of carbon mass and backscatter*)

No	Buffer	Band	Backscatter	Korelasi ( <i>r</i> ) ( <i>Correlation</i> )	
1	1x1		HH	0.08	
2	1x1		HH <sup>2</sup>	-0.13	
3	3x3	HH	HH	0.18	
4	3x3		HH <sup>2</sup>	-0.20	
5	5x5		HH	0.20	
6	5x5		HH <sup>2</sup>	-0.20	
7	1x1		HV	HV	0.77
8	1x1			HV <sup>2</sup>	-0.78
9	3x3	HV		0.90	
10	3x3	HV <sup>2</sup>		-0.91	
11	5x5	HV		0.75	
12	5x5	HV <sup>2</sup>		-0.76	
13	1x1	HH/HV	HH/HV	0.40	
14	1x1		(HH/HV) <sup>2</sup>	0.37	
15	3x3		HH/HV	0.33	
16	3x3		(HH/HV) <sup>2</sup>	0.30	
17	5x5		HH/HV	0.47	
18	5x5		(HH/HV) <sup>2</sup>	0.47	

Keterangan (*Remark*)= HH : *Horisontal Horisontal*; HV: *Horisontal Vertical*.



## B. Penyusunan Model Penduga Massa Karbon Menggunakan Teknologi ALOS PALSAR

Hasil analisis regresi penyusunan model tahap pertama mendapatkan 66 model penduga massa karbon dengan nilai  $R^2$  yang bervariasi antara 0,00 sampai 0,86. Dari 66 model tersebut dilakukan pemilihan  $R^2$  yang besar sebanyak 15 model. Selanjutnya 15 model tersebut diuji keabsahan model dengan uji koefisien dan uji-uji model untuk memenuhi asumsi metode kuadrat terkecil yang hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil uji keabsahan model dihasilkan empat model yang memenuhi persyaratan. Adapun 11 model lainnya tidak memenuhi persyaratan karena nilai  $P\text{-value} > 0,05$ , autokorelasi dan heterokedastis. Ke empat model tersebut adalah sebagai berikut : 1)  $\hat{y} = -5,337HV^2 - 111,8HV - 480,1$ ; 2)  $\hat{y} = -0,786HV^2 + 205,4$ ; 3)  $\hat{y} = 19,35HV + 323,4$  dan 4)  $y = -117,9 \ln(HV^2) + 676,4$ . Gambar ke empat model tersebut berturut-turut disajikan pada Gambar 1.

Hasil uji F pada ke empat model pada tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha=0,05$ ) diperoleh nilai  $P(F) < \alpha$ , sehingga keempat model menunjukkan bahwa peubah bebas berpengaruh signifikan terhadap peubah tidak bebas. Koefisien parameter ke dua model diuji dengan uji t yang menunjukkan  $P\text{-value} < \alpha$  (0,05) yang berarti koefisien parameter peubah bebas berpengaruh terhadap peubah tidak bebasnya.

Hasil uji-uji asumsi kuadrat terkecil menunjukkan bahwa ke empat model telah memenuhi asumsi kuadrat terkecil, yaitu: normalitas data, tidak terjadi autokorelasi atau *non*-autokorelasi serta homokedastis (*non*-heterokedastis).

## C. Validasi Model Penduga Massa Karbon

Uji validasi model penduga massa karbon dengan menggunakan data dari 30 plot permanen. Validasi model dinilai dengan hasil uji  $X^2$ , SA, SR, RMSE dan

e. Hasil uji validasi pada model 1)  $\hat{y} = -5,337HV^2 - 111,8HV - 480,1$ ; 2)  $\hat{y} = -0,786HV^2 + 205,4$ ; 3)  $\hat{y} = 19,35HV + 323,4$  dan 4)  $y = -117,9 \ln(HV^2) + 676,4$  disajikan pada Tabel 3.

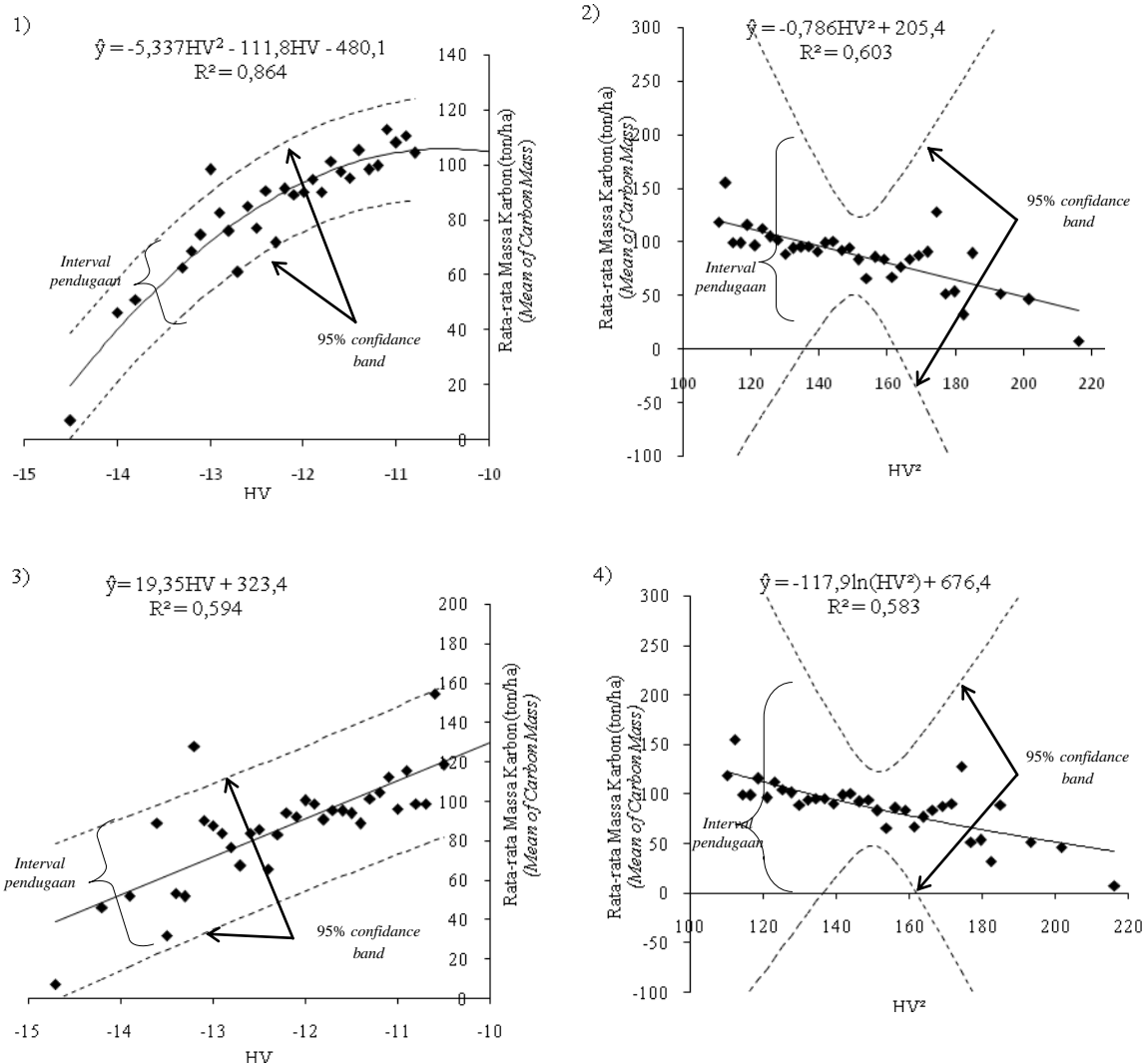
Nilai  $X^2$  model sangat besar, berturut-turut dari nilai terkecil mulai model 1), 2), 3) dan model 4) dengan besaran nilai berturut-turut adalah 362,77; 378,92; 391,63 dan 405,99. Nilai  $X^2$  lebih besar dari nilai  $X^2_{tabel}$  (43,77), yang berarti hasil pendugaan massa karbon dari ke empat model tersebut masih kurang teliti. Hasil nilai uji SA, ke empat memenuhi kriteria antara -1 sd +1, dengan nilai terendah, yaitu -0,223 pada model 1); -0,238 pada model 2); -0,245 pada model 3) dan -0,253 pada model 4). Nilai SR dari nilai terendah berturut-turut model 1) sebesar 31,10; model 2) sebesar 31,11; model 3) sebesar 31,78 dan model 4) sebesar 32,54. Nilai SR ke empat model menunjukkan bahwa nilai SR melebihi nilai kriteria SR (10%). Kriteria e dan RMSE adalah model yang memiliki hasil nilai bias atau pun RMSE rendah. Untuk hasil nilai uji e model berturut-turut dari nilai terendah yaitu model 1) sebesar -12,60, model 2) sebesar -14,11, model 3) sebesar -14,62% dan model 4) sebesar -15,18. Nilai uji RMSE menghasilkan nilai yang hampir sama, berturut-turut dari yang terendah, yaitu model 2) sebesar 27,74%, model 3) sebesar 27,99%, model 1) sebesar 28,08% dan model 4) sebesar 28,25. Nilai-nilai hasil validasi di atas menunjukkan bahwa model yang terbaik adalah model 1), kemudian model 2), model 3) dan model 4).

Uji validasi terjadi ketidakkonsistenan nilai pada uji RMSE, yaitu nilai RMSE terbaik pada model 2) uji  $X^2$ , SA, SR dan e diperoleh nilai terbaik pada model 1). Hasil yang sama juga dihasilkan pada penelitian Jaya *et al.* (2013), mengenai estimasi biomassa di atas tanah di kawasan hutan yang dibebani ijin IUPHHK-HA PT. Trisetia Intiga, Kalimantan Tengah. Ketidaktepatan model pendugaan assa

Tabel (Table)2. Pengujian model (uji koefisien dan asumsi kuadrat terkecil) (Test of models (coefficient test and least square assumptions))

No	Buffer (Pixel)	Persamaan (Equation)	Uji koefisien (Coefficient test)			Asumsi kuadrat terkecil (Least square assumptions)			Penilaian uji F, Uji t, asumsi kuadrat terkecil (Valuation of coefficient test, least square assumptions)
			R <sup>2</sup>	Sig F	P-value	Uji normalitas (Normalitytest)	Uji autokorelasi (Autocorrelation test)	Uji heterokedastisitas (Heterocedasticitytest)	
1	3 x 3	$\hat{y} = -0,007(HV^2)^2 + 1,478HV^2 + 33,75$	0,869	0,00	0,06	Normal	Non-Autokorelasi	Homokedastis	
2	3 x 3	$\hat{y} = -5,337HV^2 - 111,8HV - 480,1$	0,864	0,00	0,01	Normal	Autokorelasi	Homokedastis	*
3	3 x 3	$\hat{y} = -0,857HV^2 + 213,9$	0,821	0,00	0,00	Normal	Non-Autokorelasi	Heterokedastis	
4	3 x 3	$\hat{y} = 21,17HV^2 + 343,8$	0,804	0,00	0,00	Normal	Inconclusive	Heterokedastis	
5	3 x 3	$\hat{y} = -129,ln(HV^2) + 733,2$	0,784	0,00	0,00	Normal	Autokorelasi	Heterokedastis	
6	1 x 1	$\hat{y} = -0,004(HV^2)^2 + 0,554(HV^2) + 103,6$	0,619	0,00	0,64	Normal	Non-Autokorelasi	Homokedastis	
7	1 x 1	$\hat{y} = -3,074HV^2 - 56,75HV - 143,8$	0,614	0,00	0,34	Normal	Non-Autokorelasi	Homokedastis	
8	5 X 5	$\hat{y} = -0,008(HV^2)^2 + 1,717HV^2 + 18,82$	0,611	0,00	0,33	Normal	Autokorelasi	Heterokedastis	
9	5 X 5	$\hat{y} = -6,167HV^2 - 131HV - 590,6$	0,609	0,00	0,15	Normal	Autokorelasi	Heterokedastis	
10	1 X 1	$\hat{y} = -0,786HV^2 + 205,4$	0,603	0,00	0,00	Normal	Non-Autokorelasi	Homokedastis	*
11	1 X 1	$\hat{y} = 19,35HV + 323,4$	0,594	0,00	0,00	Normal	Non-Autokorelasi	Homokedastis	*
12	1 X 1	$\hat{y} = -117,9 ln(HV^2) + 676,4$	0,583	0,00	0,00	Normal	Autokorelasi	Homokedastis	
13	3 X 3	$\hat{y} = 915,3e-0,01(HV^2)$	0,582	0,00	0,00	Normal	Autokorelasi	Homokedastis	
14	5 X 5	$\hat{y} = -0,917(HV^2) + 222,0$	0,573	0,00	0,00	Normal	Autokorelasi	Heterokedastis	
15	5 X 5	$\hat{y} = 22,59HV + 360,5$	0,559	0,00	0,00	Normal	Autokorelasi	Heterokedastis	

Keterangan (Remark) : = Sig F < 0,05; P-Value < 0,05; kriteria asumsi kuadrat terkecil : normal, non-autokorelasi, homokedastis; \*memenuhi kriteria: uji F, Uji t, asumsi kuadrat terkecil (= Sig F < 0,05; P < 0,05; least square assumptionscriteria : normal, non-autocorrelation, homocedastic; \* criteria fulfilled: F test, t test, least square assumptions)



Gambar (Figure)2. Model hubungan backscatter dengan massa karbon (Model of backscatter and carbon mass)

Tabel (Table) 3. Validasi model (Models validation)

No	Buffer (Pixel)	Persamaan (Equation)	R <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	SA (%)	SR (%)	e (%)	RMSE (%)	Ranking
1	3 x 3	$\hat{y} = -5,337HV^2 - 111,8HV - 480,1$	0,86	362,77*	-0,223*	31,10*	-12,60*	28,08	1
2	1 x 1	$\hat{y} = -0,786HV^2 + 205,4$	0,60	378,92	-0,238	31,11	-14,11	27,74*	2
3	1 x 1	$\hat{y} = 19,35HV + 323,4$	0,59	391,63	-0,245	31,78	-14,62	27,99	3
4	1 x 1	$\hat{y} = -117,9 \ln(HV^2) + 676,4$	0,58	405,99	-0,253	32,54	-15,18	28,25	4

Keterangan (Remark) :

\*Nilai terbaik pada masing-masing uji validasi (The best value at each validaty test)

HV: Horisontal Vertical; R<sup>2</sup> : Koefisien determinasi (Determination coefficient), X<sup>2</sup> :Chi kuadrat (Chi square), SA; Simpangan Agregat (Agregative Deviation); SR : Simpangan Rata-rata (Mean deviation); e; Bias (Error); RMSE : Root Mean Square Error

karbon yang menyebabkan tingginya nilai uji validasi dapat disebabkan oleh kesalahan pengambilan contoh dalam penyusunan alometrik massa karbon dan kondisi lingkungan hutan. Menurut

Balzter *et al.* (2002) akurasi pendugaan pada biomassa menggunakan SAR dapat disebabkan karena kesalahan analisis estimasi biomassa lapangan dan menurut Mithard *et al.* (2009) backscatter

memiliki respon yang berbeda karena kondisi kelembaban tanah, vegetasi dan topografi permukaannya.

Hasil penelitian pada hutan rawa gambut ini memperoleh model matematik polynomial. Hasil penelitian lain untuk estimasi massa karbon menggunakan ALOS PALSAR di hutan tanaman Kalimantan Selatan menghasilkan model matematik linier berganda (Qirom 2012). Hasil penelitian mengenai estimasi biomassa menggunakan ALOS PALSAR yang diteliti oleh Achmad (2013) di kawasan hutan sekunder, kebun karet dan kebun kelapa sawit Batanghari dan Muaro Jambi, Jambi; oleh Jaya *et al.* (2013) di hutan alam sekunder tanah kering di Kalimantan Tengah; oleh Morel *et al.* (2011) di hutan sekunder Sabah Malaysia; oleh Suzuki *et al.* (2013) di Hutan Boreal Alaska, menghasilkan model matematik ekponensial. Model matematik yang lain dihasilkan pada penelitian di Hutan Boreal Siberia Barat, yaitu modifikasi model logaritmik (Peregon dan Yamagata 2013) dan model linier berganda HH dan HV di tanaman jambu mete Kamboja (Avtar *et al.* 2013).

Ketidaksamaan model matematik yang dihasilkan dari penelitian-penelitian tersebut diduga karena kondisi dan tipe vegetasi dari kawasan hutan yang tidak sama. Hasil penelitian Rauste *et al.* (1994) dengan menggunakan SAR di Freiburg, Jerman menunjukkan heterogenitas hutan mempengaruhi korelasi antara biomassa dan *backscatter* HV, korelasi yang lebih tinggi di hutan heterogen daripada di hutan homogen.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Adanya korelasi yang erat antara massa karbon dengan polarisasi

*backscatter*, citra ALOS PALSAR resolusi 50 m x 50 m dapat digunakan untuk menduga massa karbon hutan rawa gambut dengan polarisasi *backscatter* terbaik, yaitu HV dan model penduga massa karbon yang terpilih adalah  $\hat{y} = -5,337HV^2 - 111,8HV - 480,1$ .

2. Penelitian ini dilakukan di kawasan hutan rawa gambut yang sangat heterogen dan menggunakan persamaan alometrik massa karbon pohon lokal yang disusun dari jenis-jenis pohon dominan di kawasan hutan rawa gambut.
3. Heterogenitas jenis-jenis pohon dalam hutan tersebut mempengaruhi ketelitian hasil penelitian, sehingga hasilnya masih belum memuaskan.

##### B. Saran

Untuk penelitian lanjutan disarankan agar dilakukan penelitian pendugaan massa karbon dengan menggunakan plot selain plot IHMB (Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala) dengan alometrik dari seluruh jenis pohon di hutan rawa gambut.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Tim Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada IPB yang telah membiayai penelitian ini dengan Dana BOPTN 2013 Program Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi skema Penelitian Fundamental untuk Bagian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, E., Jaya I.N.S., Saleh, M.B., Kuncahyo, B. (2013). Biomass estimation using ALOS PALSAR for identification of lowland forest transition ecosystem in Jambi Province. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. Vol. XIX, (2) : 145-155. doi:10.7226/jtfm.19.2.145.



- Avtar, R., Takeuchi, W., Sawada H. (2013). Monitoring of biophysical parameters of cashew plants in Cambodia using ALOSPALSAR data. *Journal of Environment Monitoring Assessment*. 185 : 2023–2037. doi 10.1007/s10661-012-2685-y.
- Balzter, H., Talmon, E., Wagner, W., Gaveau, D., Plummer, S., Yu, J.J., Quegan, S., Davidson, M., Le Toan, T., Gluck, M., Shvidenko, A., Nilsson, S., Tansey, K., Luckman, A., Schmullius, C. (2002). Accuracy assessment of a large-scale forest cover map of central Siberia from synthetic aperture radar. *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 28 (6) : 719-737.
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. FAO Forestry Paper No. 134. Rome, Italy.
- Draper, N. dan Smith. (1992). Analisis regresi terapan. Jakarta (ID) : PT. Gramedia Pustaka. Terjemahan dari *Applied regression analysis*. Ed ke-2.
- Djomo, A.N., Knohl, A., Gravenhorst, G. (2011). Estimation of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management* 261: 1448-1459.
- Elias and Wistara, N. (2009). Study of method for estimation of tree carbon mass of *Paraserianthes falcataria* L Nielsen in the community forest. *Journal of Tropical Forest Management*. Vol. XV (2) :75-82.
- Elias.(2010). *Innovation in the methods of forest carbon stock estimation*. Paper presented in XXIII IUFRO World Congress, Conducted on 23-28 August 2010, in Seoul, South Korea.
- Ghasemi, N., Sahebi, M.R., Mohammadzadeh, A. (2011). A review on biomass estimation methods using synthetic aperture radar data. *Journal of Geomatics and Geoscience*. Vo.1. (4) : 776-788.
- Goetz, S.J., Baccini, A., Laporte, N.T., Johns, T., Walker, W., Kelldorfer, J., Houghton, R.A., Sun, M. (2009). Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations : a comparison of methods. *Carbon Balance and Management* 4 : 2. doi:10.1186/1750-0680-4-2.
- Istomo. (2006). Kandungan fosfor dan kalsium pada tanah dan biomassa hutan rawa gambut. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* Vol XII (3) : 40-57.
- Istomo, Komar, T. E., Tata, M. H. L., Sumbayak E. S. S., Rahma A. (2010). *Evaluasi sistem silvikultur hutan rawa gambut di Indonesia*. Bogor (ID) : ITTO Cites Project dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Kementerian Kehutanan.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1995). IPCC second assessment. *Climate change 1995. A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <http://www.grida.no/publications>.
- Japan International Cooperation Agency (JICA), Fakultas Kehutanan IPB. (2011). *Manual penafsiran visual citra Alos Palsar untuk mengenali penutupan lahan/hutan di Indonesia. Versi 3*. Bogor (ID) : JICA dan Fakultas Kehutanan IPB.
- Jaya, I.N.S. (2010). *Analisis citra digital: prespektif penginderaan jauh untuk pengelolaan sumberdaya alam. Teori dan praktek menggunakan Erdas Imagine*. Bogor (ID): Fakultas Kehutanan IPB.
- Jaya, I.N.S., Agustina, T.L., Saleh, M.B., Shimada, M., Kleinn, C., Fehrmann, L. (2013). Above ground biomass estimation of dry land tropical forest using ALOS PALSAR in Central Kalimantan, Indonesia. Di dalam: Fehrmann L dan Kleinn C. editor.

- Forest in climate change research and policy: the role of forest management and conservation in a complex international setting*, 2012 28 Nov-2 Des; Dubai dan Doha. Jerman (DE) : Cuvillier Verlag. Hlm 107-123.
- [KLH] Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2010). *Profil ekosistem gambut di Indonesia*. Jakarta (ID): Kementerian Negara Lingkungan Hidup.
- Kraenzel, M., Castillo, A., Moore, T., Potvin, C. (2003). Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *Journal of Forest Ecology and Management* 173 (2003) : 213-225.
- Losi, C.J., Siccama, T.G., Condit, R., Morales, J.E. (2003). Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management* Vol. 184 : 355-368.
- Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 27 (7) : 1297-1328.
- Mattjik, A.A., Sumertajaya, I.M. (2013). *Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan minitab*. Bogor (ID) : IPB Press.
- Morel, A.C., Saatchi, A.S., Malhi, Y., Berry, N.J., Banin, L., Burslem, D., Nilus, R., Ong, R. (2011). *Estimating above ground biomass in forest and oil palm plantation in Sabah*, Malaysian Borneo using ALOS PALSAR data.
- Nawari. (2010). *Analisis regresi dengan ms excel 2007 dan spss 17*. Jakarta (ID) : Elex media komputindo.
- Peichl, M, and Arain, M.A. (2006). Above and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 140 : 51-63.
- Peichl, M, and Arain, M.A. (2007). Allometry and partitioning of above and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. *Journal of Forest Ecology and Management*. 253: 68-80.
- Peregon, A., Yamagata, Y. (2013). The use of ALOS/PALSAR backscatter to estimate above-ground forest biomass: a case study in Western Siberia. *Remote Sensing of Environment*. 137 : 139-146.
- Pindyck, R.S. dan Rubinfeld, D.L. (1991). *Econometric models and economic forecasts*. United States of America (US) : McGraw-Hill.
- Qirom, M.A, Saleh, M.B., Kuncahyo, B. (2012). Aplikasi citra alos palsar untuk pendugaan simpanan karbon di hutan tanaman akasia. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. Vol 9 (3): 121-134.
- Rauste, Y., Hame, T., Pulliainen, J., Heiska, K., Hallikainen, M. (1994). Radar-based forest biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 15 (14) : 2797-2808.
- Rauste, Y., Lonqvist, A., Ahola, H. (2008). Mapping boreal forest biomass with image from polarimetric and semi-polarimetric SAR sensors. *Ambiencia. Guarapuava*. PR. Edicao Especial. (4) : 171-180.
- Segura, M. and Kanninen, M. (2005). Allometric models for tree volume and total above ground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica: *Biotropica* 37 (1) : 2-8.
- Shimada, M., Isoguchi, O., Tadano. T., Isono, K. (2009). PALSAR Radiometric and Geometric Calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 47 : 3915-3932.
- Streck, C., and Scholz. S. M. (2006). *The role of forest in global climate change : whence we come and where we go*. *International Affairs*. 82.5 : 861-879.

- Suwarna. U., Elias, Darusman, D. dan Istomo. (2012). Estimasi simpanan karbon total dalam tanah dan vegetasi hutan gambut tropika di Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. Vol. XVIII, (2) : 118-128. doi: 10.7226/jtfm.18.2.118.
- Suzuki, R., Kim, Y., Ishii, R. (2013). Sensitivity of the back scatter intensity of ALOSP ALSAR to the above ground biomass and otherbiophysical parameter sof boreal forest in Alaska. *Polar Science*. (7) : 100-112.
- Takada, M., Mishima, Y., Natsume, S. (2009). Estimation of surface soil properties in peatland using Alos Palsar: landscape ecology engineering 5 : 45-58. doi 10.1007/s11355-008-0061-4.
- Vashum, K.T. dan Jayakumar, S. (2012). Method stoestimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests-a review. *Journal Ecosystem & Ecography*. 2 : 4. http://dx.doi.org/10.4172/2157-7625.1000116.
- Yuniawati.(2011). *Pendugaan potensi massa karbon dalam hutan tanaman kayu serat di lahan gambut* [disertasi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.