

# ESTIMASI BIOMASSA VEGETASI HUTAN SEKUNDER DAN AREAL REKLAMASI MENGGUNAKAN TEKNOLOGI INDERAJA DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI (SIG)

## *Biomass Estimation of Secondary Forest Vegetation Using Remote Sensing Technology and Geographic Information System*

HARRY T. ANTONO, M. LUTFI dan RETNO DAMAYANTI

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211  
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373  
e-mail: harryta@tekmira.esdm.go.id

---

### SARI

Biomassa memiliki peranan penting dalam pengelolaan ekosistem hutan dan menjadi salah satu parameter untuk mengetahui perubahan struktur hutan, karena jumlah stok biomassa bergantung pada ada atau tidaknya pemudaan alam, terganggu atau tidaknya hutan, dan peruntukan hutan. Penelitian ini dilakukan untuk memperkirakan sebaran biomassa di hutan sekitar penambangan batubara menggunakan pendekatan tidak langsung dengan model alometrik dan menghitung penyerapan karbon. Dengan melakukan analisis citra menggunakan ALOS PALSAR resolusi spasial 12,5 m serta pembuatan peta sebaran menggunakan model terpilih didapatkan dugaan sebaran biomassa di lokasi reklamasi PT Adaro Indonesia adalah 35,328 ton/ha dan nilai biomassa maksimum sebesar 143,863 ton/ha dengan persamaan alometrik  $Y = 1,375 * \exp(-134,541/BS\_HV)$ . Pada pendugaan biomassa hutan sekunder digunakan persamaan  $0.116e-0.21x$ ; dimana  $x$  merupakan *backscatter* HV. Pada pendugaan biomassa di hutan sekunder terjadi kenaikan potensi pada kelas biomassa 2 dan 3 sebesar 8.62% dalam rentang waktu 2007 sampai 2010.

Kata kunci : Alometrik, biomassa, base line area, ALOS PALSAR, pemetaan

### ABSTRACT

*Biomass has an important role in the management of forest ecosystems and became one of the parameters to determine any changes in forest structure, because the amount of stock biomass depends on the presence or absence of natural regeneration, the disturbed or undisturbed forest, and forest allocation. The objective of this study is to estimate the amount of biomass in the forest using an indirect approach through modeling Allometric, and to calculate carbon sequestration in the forest areas surrounding the coal mining, including reclamation and base line areas. By performing image analysis using ALOS PALSAR with 12.5 m spatial resolution and mapping the distribution by selected models, the estimated biomass distribution at reclamation area of PT Adaro Indonesia was 35.328 tons / ha with a maximum biomass value of 143.863 tons / ha. The allometric equations used was  $Y = 1.375 * \exp(-134.541 / BS\_HV)$ . In the secondary forest, the biomass estimation equations was  $0.116e-0.21x$ , where  $x$  is the HV backscatter. In the secondary forest, there was a potential increase in biomass classes 2 and 3 by 8.62% within 3 years (2007 to 2010).*

Keywords: Allometric, biomass, ALOS PALSAR, mapping

---

## PENDAHULUAN

Penurunan Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer, terutama CO<sub>2</sub> dilakukan tidak hanya dengan menurunkan emisi, tetapi perlu diiringi dengan meningkatkan penyerapan GRK tersebut. Melalui fotosintesis, CO<sub>2</sub> diserap dan diubah oleh tumbuhan menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa. Kandungan karbon absolut dalam biomassa pada waktu tertentu dikenal dengan istilah stok karbon (*carbon stock*) (Apps dkk., 2003).

Di permukaan bumi ini, kurang lebih terdapat 90 % biomassa yang terdapat dalam hutan berbentuk pokok kayu, dahan, daun, akar dan sampah hutan (serasah), hewan, dan jasad renik (Arief, 2001). Biomassa ini merupakan tempat penyimpanan karbon dan disebut resor karbon (*carbon sink*). Dalam melihat fungsi hutan sebagai penyerap karbon, informasi mengenai jumlah karbon yang ditambat oleh suatu kawasan hutan (stok karbon) menjadi penting. Oleh karena itu perlu dikembangkan metode-metode untuk estimasi stok karbon serta memantau perubahannya secara periodik.

Metode estimasi stok karbon yang telah dikembangkan didasarkan pada pengukuran-pengukuran di lapangan pada tingkat plot. Stok karbon diestimasi dari biomasanya dengan mengikuti aturan 40% biomassa adalah karbon (Zak dkk, 2000). Salah satu metode estimasi biomassa yang digunakan adalah dengan membangun persamaan alometri. Asumsi yang diambil bahwasanya ada korelasi yang cukup tinggi antara dimensi pohon (diameter dan tinggi) dengan besarnya biomassa pohon. Estimasi dilakukan dengan cara mengukur diameter batang pohon setinggi dada (*diameter at breast height*, DBH), yang terdapat pada plot penelitian. Kemudian DBH digunakan sebagai variabel bebas dari persamaan alometri yang menghubungkannya dengan biomassa sebagai variabel tak bebas dan DBH sebagai variabel bebas. Metode ini telah banyak digunakan untuk estimasi stok karbon pada berbagai tipe vegetasi di Indonesia (van Noordwijk dkk, 2002; Roshetko dkk, 2002; Hairiah dkk, 2001).

Untuk mengestimasi stok karbon pada suatu kawasan yang lebih luas diperlukan suatu cara untuk mengekstrapolasikan hasil pengukuran berbasis plot ke tingkat bentang alam. Salah satu metode yang sangat potensial untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh (inderaja). Salah satu data yang diperoleh dari penginderaan jauh adalah karakteristik reflektansi, karakteristik spektral (Roderick dkk,

2000). Saat ini banyak dikembangkan penelitian untuk mengestimasi stok karbon dengan menggunakan sistem penginderaan jauh aktif yaitu dengan menggunakan citra satelit berbasis radar. ALOS PALSAR merupakan salah satu citra satelit sistem radar yang dikembangkan oleh pemerintah Jepang untuk membantu pengelolaan sumberdaya alam. Citra ALOS PALSAR dapat menyajikan informasi mengenai parameter fisik hutan (volume) karena memiliki sensitifitas terhadap batang dan struktur tegakan sehingga memiliki keakuratan yang cukup baik dalam mengestimasi biomassa.

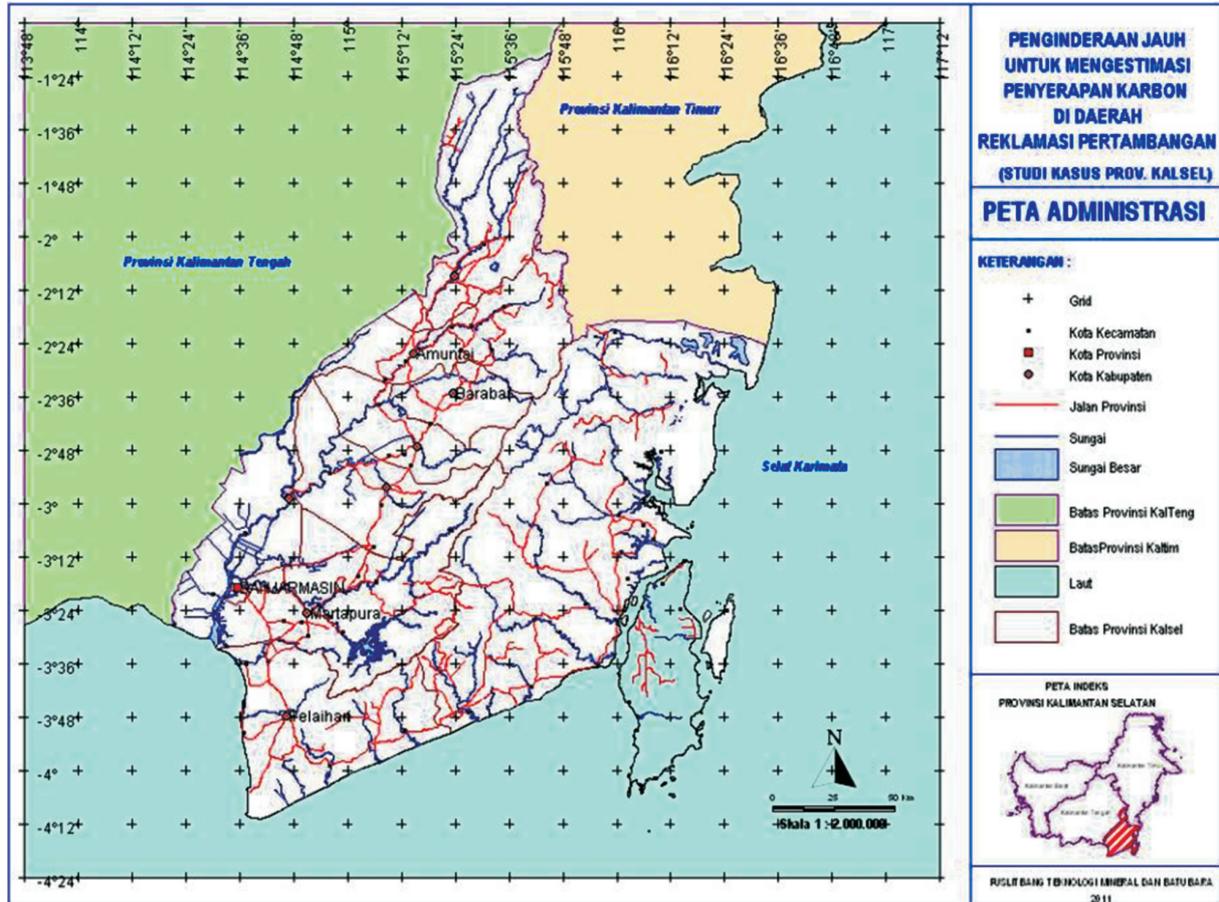
Penelitian ini dilakukan untuk menduga jumlah biomassa di dalam hutan dan menghitung penyerapan karbon pada kawasan hutan di sekitar pertambangan batubara yang meliputi daerah reklamasi dan *base line area*, dengan pendekatan secara tidak langsung melalui persamaan alometri, interpretasi citra satelit, serta pengukuran parameter tegakan (diameter dan tinggi pohon). Informasi kandungan karbon di hutan revegetasi dan hutan sekunder diharapkan dapat membantu kebijakan pemerintah dalam memperkirakan pengurangan emisi karbon akibat adanya aktifitas penambangan batubara serta membantu upaya menekan perubahan iklim global melalui peningkatan fiksasi karbon dalam biomassa hutan.

## METODOLOGI

Lokasi penelitian berada di lokasi kegiatan pertambangan batu bara Perjanjian Karya Pengusahaan Pertambangan Batubara (PKP2B) di Kab. Tanahbumbu dan Tabalong Propinsi Kalimantan Selatan (Gambar 1).

### Metode Estimasi Penyerapan Karbon

Pengolahan data dengan citra ALOS PALSAR menggunakan sensor RADAR (*Radio Detection and Ranging*). Antena pada radar mentransmisi dan menerima gelombang pada panjang gelombang dan polarisasi tertentu. Energi gelombang radar menyebar ke seluruh bagian permukaan bumi yang dikenal sebagai *backscatter* atau hamburan balik. Hamburan balik pada radar merupakan ukuran kuantitatif dari intensitas energi yang kembali ke antena. Nilai hamburan balik yang dihasilkan pada sebuah sensor radar dipengaruhi beberapa faktor antara lain kedalaman penetrasi dari gelombang radar, kekasaran permukaan obyek dan sifat-sifat dielektrik volume obyek. *Michigan Microwave Canopy Scattering Model* (MIMICS) telah dikem-



Gambar 1. Lokasi Penelitian

bangkan untuk memberikan pemahaman terhadap hamburan balik (*backscatter*) radar pada vegetasi. Beberapa bentuk hamburan yang dapat dikalkulasi adalah hamburan pada permukaan dan volume tajuk, hamburan langsung pada permukaan tanah, hamburan langsung pada batang, hamburan dari permukaan tanah ke batang, dan hamburan dari permukaan tanah ke tajuk.

Citra ALOS PALSAR dalam mengestimasi penyerapan karbon menggunakan klasifikasi secara digital melalui interpretasi visual dan deliniasi obyek langsung pada layar monitor dengan cara penggabungan data multispektral (*color composit*).

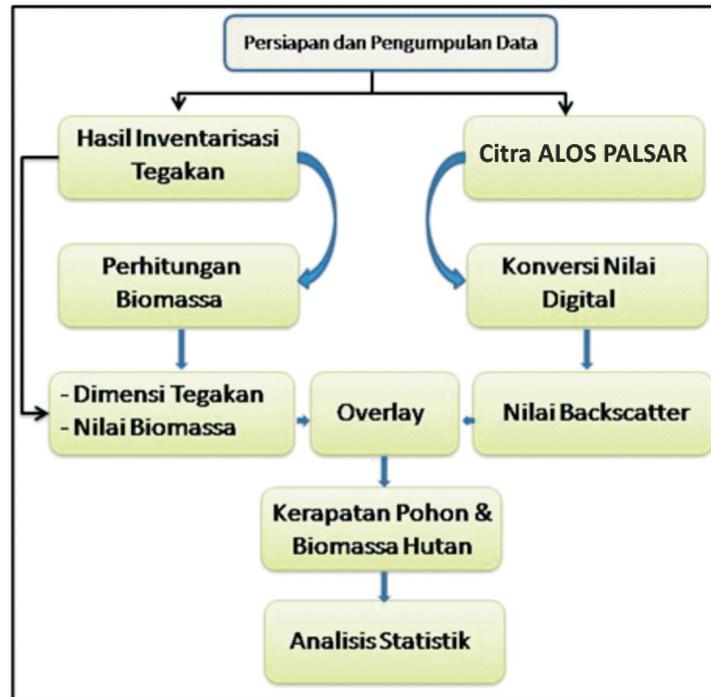
Analisis spasial untuk menentukan zonasi daerah yang mengalami kerusakan atau berubahnya fungsi lahan menggunakan metode sistem informasi geografi (SIG), dibantu hasil *tracking* GPS untuk penentuan titik kontrol *Ground Control Point* (GCP) di lapangan yang juga diperlukan dalam proses koreksi geometrik. Sebagai data sekunder untuk membantu interpretasi digunakan juga peta penggunaan lahan.

Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

### Metode Penghitungan Pada Kawasan Hutan Sekunder dan Daerah Reklamasi

Data berupa diameter (D) dan tinggi pohon (H) diambil dengan melakukan pengukuran plot-plot percontohan berupa persegi panjang berukuran 20 m × 50 m sebanyak 60 buah dan tersebar proporsional menurut umur tanaman hasil revegetasi. Pengukuran diameter dilakukan terhadap tanaman dengan diameter 5 cm ke atas. Kelas umur pada wilayah revegetasi dibagi menjadi 3 yaitu, Kelompok Umur (KU) I Muda, Kelompok Umur (KU) II Sedang, Kelompok Umur (KU) III Tua. Adapun jenis tanaman yang menjadi obyek penelitian adalah akasia (*Acacia mangium*), sengon (*Paraserianthes falcataria*) dan sungkai (*Peronema canescens*).

Setiap KU diambil (ditebang) satu pohon yang dianggap mewakili kondisi tegakan di kelasnya untuk diukur biomasnya menggunakan metode



Gambar 2. Diagram alir penelitian

destruktif. Pengumpulan data berat basah dan berat kering percontoh dilakukan pada bagian akar, batang, ranting, dan daun. Bagian akar, batang, ranting, daun, dan serasah kemudian diambil percontoh uji seberat 300g untuk pengukuran kadar air. Percontoh uji tersebut dikeringkan menggunakan oven di laboratorium dengan suhu  $103 \pm 2$  °C. Pengukuran berat serasah dilakukan menggunakan sub-plot bujur sangkar berukuran 0,5 m × 0,5 m yang diletakkan berseling pada poros jalur dengan jarak 10 m antar sub-plot (Gambar 3).

#### Perhitungan Kadar Air dan Biomassa

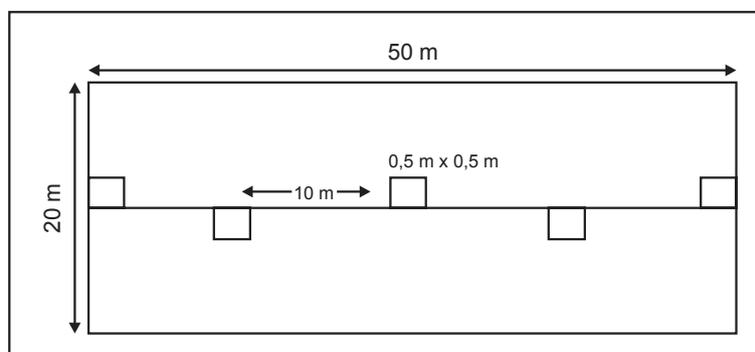
Perhitungan kadar air akar, ranting, batang, daun, dan serasah dilakukan menggunakan persamaan matematis yang diperoleh dari Haygreen dan Bowyer (1986).

$$\%KA = \frac{BBc - BKc}{BKc} \times 100\%$$

KA : Persentase kadar air (%)

BBc : Berat basah percontoh uji (g)

BKc : Berat kering percontoh uji (g)



Gambar 3. Plot pengukuran pohon dan serasah

Perhitungan biomassa dilakukan dalam dua tahap, yaitu penghitungan biomassa hasil pengukuran destruktif dan pengukuran biomassa menggunakan persamaan alometrik. Perhitungan biomassa hasil pengukuran destruktif dilakukan menggunakan persamaan yang diperoleh dari Haygreen dan Bowyer (2003)

$$B = \frac{BB}{1 + \frac{\%KA}{100}}$$

B : Biomassa (kg)  
BB : Berat Basah (kg)  
%KA : Persentase kadar air (%)

Perhitungan biomassa untuk jenis Sengon menggunakan persamaan alometrik (Kenzo dkk., 2009) sebagai berikut :

$$\ln(Wt) = 2,56 \times \ln(DBH) - 2,95$$

Wt = biomassa (kg)  
DBH = diameter setinggi dada (cm)

Pendugaan biomassa untuk jenis sungkai dilakukan menggunakan persamaan alometrik yang dibuat oleh Ketterings dkk. (2001), yaitu:

$$B = 0,11\rho D^{2+0,62};$$

D = diameter (cm);  
 $\rho$  = berat jenis kayu

Biomassa hutan menurut Brown (1997) tersimpan dalam bentuk karbon sebesar 50% dari jumlah total biomassa. Berdasarkan perbandingan tersebut maka dapat dibuat faktor konversi sebesar 0,5.

$$C = 0,5B;$$

B = biomassa (kg);  
C = jumlah stok karbon (kg)

Hairiah dkk., (2001) menjelaskan bahwa kandungan karbon di dalam serasah adalah sebesar 40% dari total biomassa, sehingga dapat diperoleh faktor konversi untuk biomassa serasah terhadap karbon sebesar 0,4.

$$C = 0,4B$$

Pendugaan nilai biomassa menggunakan citra ALOS PALSAR didasarkan pada hubungan antara nilai *backscatter* (hamburan balik) citra ALOS PALSAR

dengan nilai biomassa yang diperoleh pada plot-plot ukur. Hasil hubungan antara *backscatter* dengan biomassa ini yang digunakan untuk menduga lokasi-lokasi lain sehingga diperoleh nilai dugaan simpanan biomassa pada wilayah yang lebih luas. Persamaan yang digunakan untuk merubah nilai digital menjadi *backscatter* adalah sebagai berikut (Shimada dkk, 2009).

$$BS = 10 \times \text{Log}_{10}(DN^2) + CF$$

BS : Nilai *backscatter* (dB)  
DN : Nilai digital  
CF : Faktor kalibrasi (-83) (JAXA, 2010)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

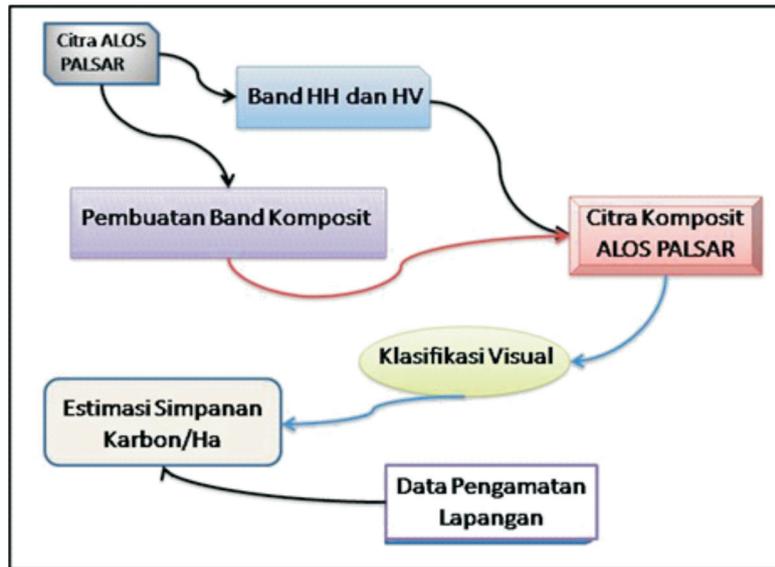
Daerah penelitian yang dijadikan studi kasus adalah area PT. Adaro. Analisis citranya menggunakan ALOS PALSAR dengan pertimbangan bahwa citra ini bisa menembus awan sehingga dalam menentukan dugaan biomassa dan serapan karbon pada daerah reklamasi dan *baseline area* dapat dilakukan dengan mudah. Lokasi perusahaan tersebut sebagian masuk wilayah Kabupaten Tabalong Propinsi Kalimantan Selatan serta merupakan daerah lintasan garis katulistiwa sehingga sering terjadi kebakaran hutan dan banyak awan.

Polarisasi ALOS PALSAR menggunakan band sintetik yaitu HH (horizontal-horizontal), HV (horizontal-vertikal), dan rasio antara HH dan HV (HH/HV). Ketiga jenis polarisasi ini masing-masing menempati band 1 (HH), band 2 (HV), dan band 3 (HH/HV).

### Analisis Biomassa Pohon

Pengambilan data biomassa di PT. Adaro dilakukan dengan membagi seluruh kategori tegakan menjadi 3 (tiga) kelas umur. Kelas Umur I (KU I) berisikan tegakan dengan umur 0-4 tahun, Kelas Umur II (KU II) terdiri atas tegakan dengan umur 5-8 tahun, dan Kelas Umur III (KU III) terdiri atas tegakan dengan umur di atas 9 tahun. Dari Tabel 1 diperoleh nilai rata-rata tertinggi terdapat pada KU III yaitu sebesar 143.863 ton/ha. Sebaran jumlah plot ukur tersebar merata pada KU I hingga KU III. Adapun hasil pendugaan biomassa pada hutan sekunder dapat dilihat pada Tabel 2.

Menurut data karbon yang tersimpan pada komponen pohon, dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa kandungan karbon terbesar terdapat pada plot 3



Gambar 4. Bagan alir pengolahan citra ALOS PALSAR

yaitu sebesar 44.37113 ton/ha. Total kandungan karbon vegetasi hutan sekunder pada lokasi penelitian adalah sebesar 108.96435 ton/ha.

Penyusunan model *backscatter* dengan biomassa untuk melakukan pendugaan di daerah yang lebih luas menggunakan data yang diambil pada plot-plot ukur, diperlukan adanya hubungan yang erat antara variabel peubah terikat, dalam hal ini biomassa dengan variabel peubah bebas, yaitu nilai hamburan balik (*backscatter*). Bentuk hubungan antara dua variabel tersebut menentukan jenis persamaan yang akan dibuat untuk menjelaskan hubungan dua variabel tersebut secara matematis.

Dengan menghilangkan satu per satu titik pengamatan kemudian dihitung nilai R<sup>2</sup> (yaitu besarnya pengaruh variabel bebas *backscatter* dalam hal ini HH atau HV terhadap variabel tidak bebas biomassa) dan nilai akar rata-rata jumlah kuadrat galatnya (RMSE) sehingga diperoleh 30 titik pengamatan yang mempunyai nilai R<sup>2</sup> terbesar dan nilai RMSE terkecil yang tersebar antara KU I hingga KU III.

Hasil analisis regresi non-linear pada variabel bebas *backscatter* HV dengan variabel tidak bebas biomassa dan variabel bebas *backscatter* HH dengan variabel tidak bebas biomassa menggunakan bentuk persamaan non-linear eksponensial. Adapun bentuk model terbaik untuk menduga simpanan biomassa dengan menggunakan *backscatter* HH adalah

$$Y = \text{Exp}(5,323 + (0,083 * \text{BS\_HH})),$$

Dan bentuk model terbaik untuk menduga simpanan biomassa dengan menggunakan *backscatter* HV adalah

$$Y = 1,375 * (\text{Exp}(-134,541 / \text{BS\_HV}))$$

Kandungan karbon (*C-stock*) dihitung dengan menggunakan pendekatan biomassa dengan asumsi 50 % dari biomassa adalah karbon yang tersimpan.

Dengan menggunakan persamaan di atas didapat nilai biomassa total dan kandungan karbon seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Rata-rata biomassa di lokasi reklamasi PT. Adaro

Kelas Umur	Σ Plot per KU	Rata-rata biomassa per KU (ton/ha)	Rata-rata serapan karbon per KU (ton/ha)
KU I	22	35.328	17.664
KU II	19	59.849	29.9245
KU III	20	143.863	71.9315

Tabel 2. Pendugaan biomassa di hutan sekunder PT Adaro

No. Plot	Total Biomassa (ton/ha)	Total Kandungan Karbon (ton/ha)
1	8.448945	4.224473
2	6.000904	3.000452
3	88.74226	44.37113
4	70.96211	35.48105
5	43.73398	21.86699
J U M L A H		108.96435

Tabel 3. Kandungan karbon (C-stock) di lokasi reklamasi PT Adaro

Tahun	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
2007	11.936,99	5.968,495
2010	8.504,82	4.252,41

Dari Tabel 3 tersebut dapat terlihat bahwa untuk tahun 2007, pengukuran pada PT Adaro menghasilkan potensi simpanan biomassa sebesar 11.936,99 ton/ha dan pada tahun 2010 potensi biomasanya menurun menjadi 8.504,82 ton/ha. Sedangkan jumlah simpanan biomassa rata-rata dihitung dengan menggunakan nilai rata-rata dari nilai biomassa yang dihasilkan pada citra pada tahun 2007 adalah sebesar 124,66 ton/ha dan pada tahun 2010 potensi rata-rata simpanan biomasanya adalah 122,56 ton/ha. Pada tahun 2007 kandungan karbon (C-Stock) rata-rata simpanan karbon sebesar 62,33 ton/ha dan pada tahun 2010 adalah 61,28 ton/ha (Tabel 4). Terlihat bahwa terjadi penurunan rata-rata simpanan biomassa pada tahun 2010 ini kemungkinan karena ada bukaan lahan baru atau pohon belum produktif (terlalu muda).

### Peta Sebaran Biomassa

Berdasarkan model pendugaan biomassa dengan menggunakan *backscatter* HH dan HV dibuat peta sebaran biomassa pada citra ALOS PALSAR resolusi

Tabel 4. Potensi rata-rata simpanan biomassa

Tahun	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
2007	124.6	62.33
2010	122.6	61.28

12,5 m. Klasifikasi dalam pembuatan peta sebaran biomassa berdasarkan model hubungan biomassa dengan nilai *backscatter* pada Citra ALOS PALSAR resolusi 12,5 m terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Selang kelas biomassa yang digunakan untuk membuat peta sebaran biomassa

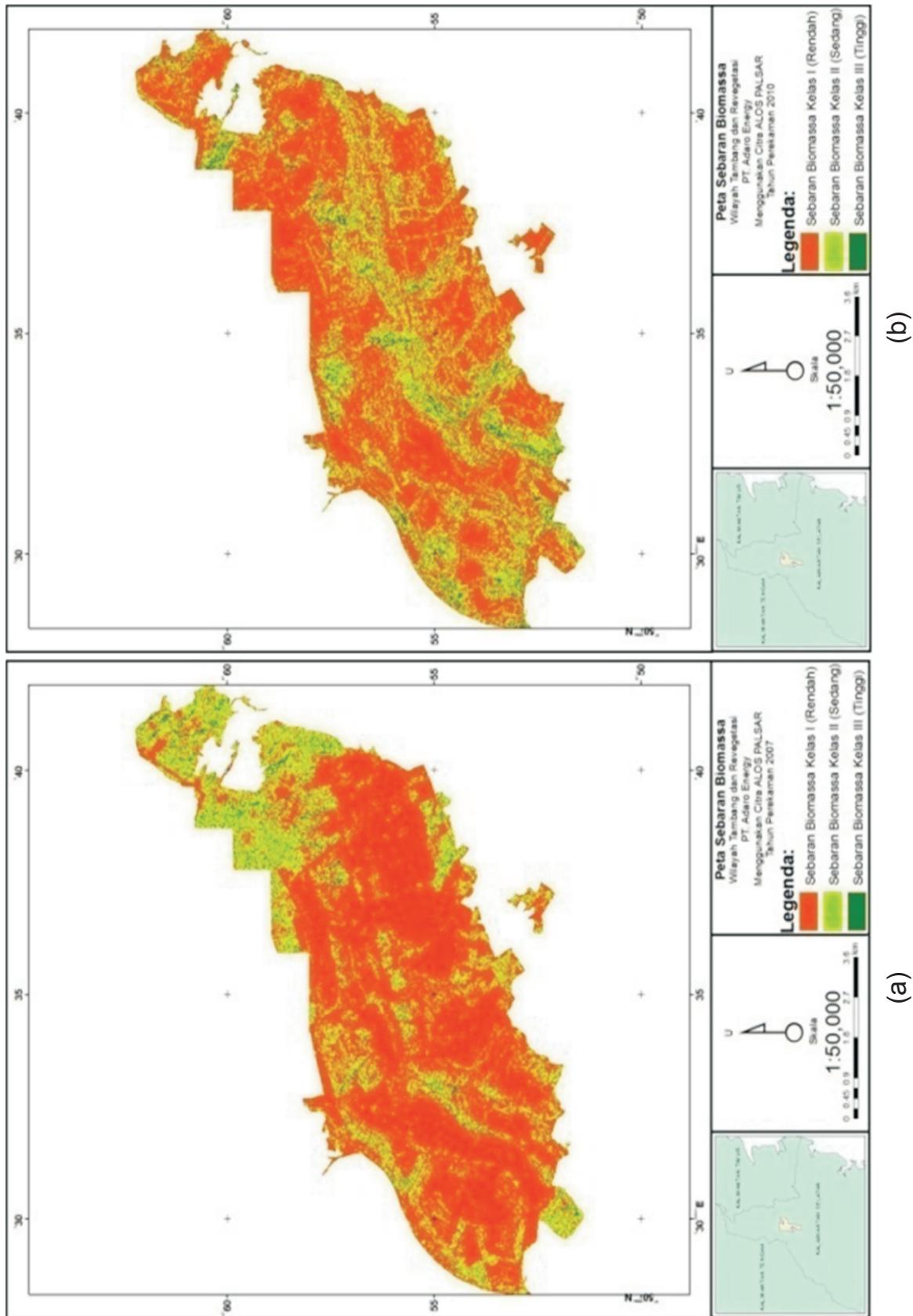
Kelas Biomassa	Kisaran nilai biomassa (ton/ha)
1	0 ~ 33.893
2	33.893 ~ 60.965
3	69.965 ~ up

Peta sebaran biomassa pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 5. Peta sebaran biomassa yang telah dibuat menunjukkan perubahan luasan kelas biomassa yang terjadi dalam kurun waktu 3 tahun. Pada Tabel 6 disajikan data perubahan luasan kelas biomassa baik pada *baseline* area maupun daerah reklamasi.

Kelas biomassa disusun berdasarkan nilai minimum dan maksimum hasil pendugaan biomassa menggunakan persamaan regresi yang telah dibuat sebelumnya. Kelas biomassa 1 menggambarkan nilai simpanan biomassa terendah dari suatu tegakan, sedangkan kelas biomassa 3 menggambarkan nilai simpanan biomassa tertinggi hingga mencapai saturasi tertentu yang diserap oleh suatu tegakan.

Berdasarkan Tabel 6 selisih luasan pada masing masing kelas biomassa menghasilkan analisis sebagai berikut:

Kelas biomassa 1 tahun 2007 mempunyai luasan yang lebih kecil dibandingkan tahun 2010, karena



Gambar 5. Peta sebaran biomassa di lokasi reklamasi PT Adaro a) tahun 2007 b) tahun 2010

Tabel 6. Perubahan luasan kelas biomassa pada *baseline area* dan daerah reklamasi

Citra ALOS PALSAR 2010	Baseline (ha)	Reklamasi (ha)
Kelas biomassa 1	19416,60	4012,40
Kelas biomassa 2	6064,57	1608,92
Kelas biomassa 3	3112,22	581,88
Citra ALOS PALSAR 2007	Baseline (ha)	Reklamasi (ha)
Kelas biomassa 1	10840,90	4433,13
Kelas biomassa 2	9469,22	1379,52
Kelas biomassa 3	7027,42	398,98

adanya perubahan struktur tegakan kelas biomassa 1 menjadi kelas biomassa 2, tetapi tidak terjadi penambahan penanaman atau perluasan areal reklamasi. Kelas biomassa 2 selanjutnya bertransisi menjadi kelas biomassa 3 dalam kurun waktu 3 tahun. Penambahan luas untuk kelas biomassa 2 sebesar 229,4 ha (1608,92 – 1379,52) dan kelas biomassa 3 sebesar 182,9 ha (5581,88 – 398,98) pada tahun 2010. Berdasarkan Gambar 5 biomassa menyebar dalam tiga kelas yang telah diklasifikasikan sebelumnya. Tampak pula bahwa kelas biomassa 1 lebih banyak menyebar di barat daya lokasi penelitian, sedangkan sebaran kelas biomassa 2 menuju arah timur laut dan sebaran kelas biomassa 3 menyebar rata.

### Biomassa Hutan Sekunder PT Adaro

Dengan menggunakan 5 titik pengamatan dan pengukuran biomassa di hutan sekunder PT Adaro (Tabel 2), dihasilkan model pendugaan biomassa dengan menggunakan parameter *backscatter* pada citra satelit ALOS PALSAR 12,5m, sebagai berikut:

Variabel : BS HV

Persamaan :  $0.116e-0.21x$

R2 : 51.2%

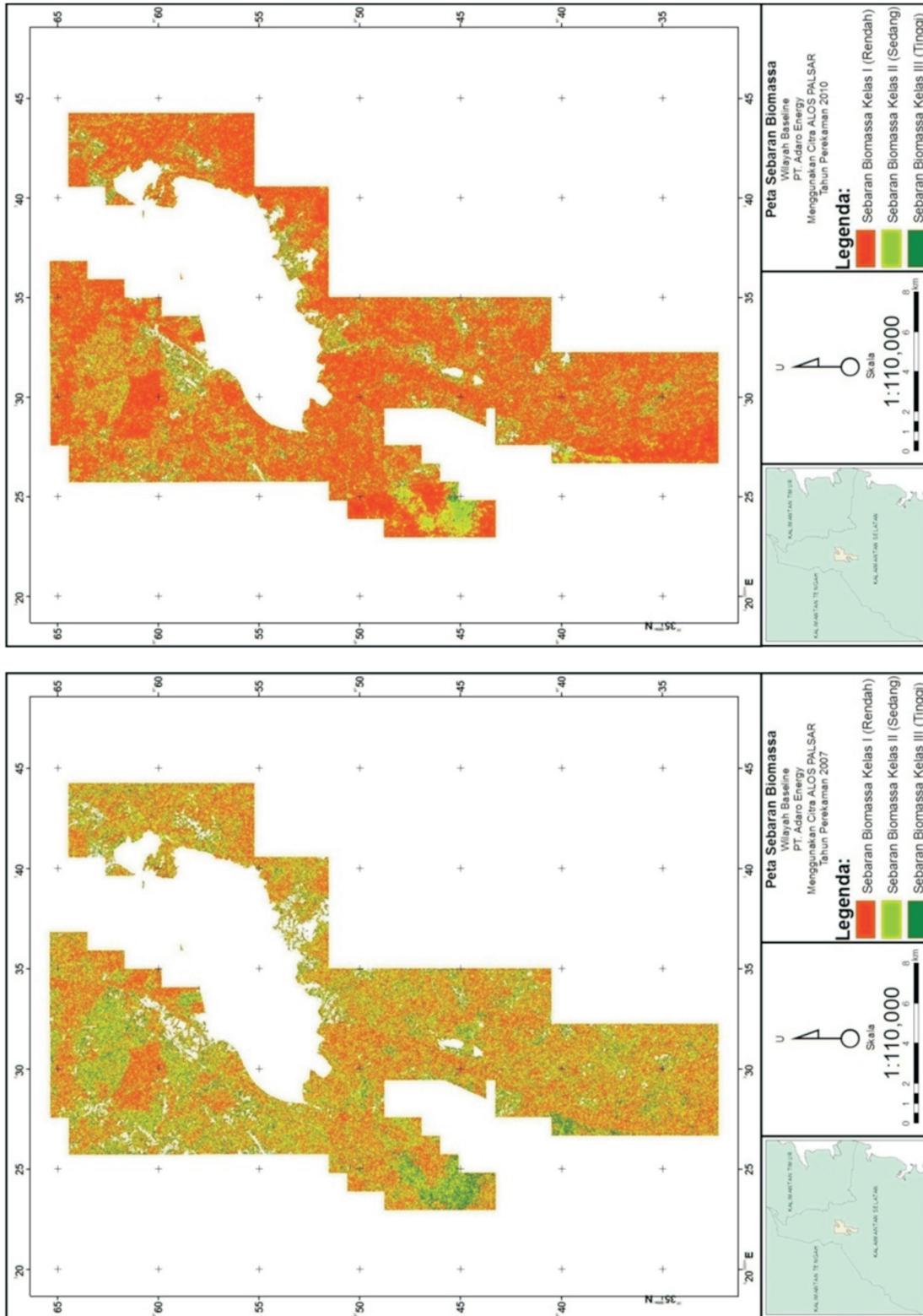
Dari peta sebaran biomassa hutan sekunder PT Adaro (Gambar 6) dengan menggunakan model pendugaan biomassa yang dihasilkan dari citra satelit ALOS PALSAR di atas didapat bahwa pada peliputan tahun 2007 menunjukkan sebaran biomassa kelas 1 memiliki luasan sebesar 10840,9 ha dengan potensi biomassa rata-ratanya 34 ton/ha. Sebaran biomassa kelas 2 memiliki luasan sebesar 9469,22 ha dengan potensi rata-rata biomasanya sebesar 47,48 ton/ha dan sebaran biomassa kelas 3 memiliki luasan 7027.42 ha dengan potensi biomassa rata-ratanya 205,5 ton/ha (Tabel 7).

Tabel 7. Potensi rata-rata biomassa

Klasifikasi	Luas (Ha)	Total Biomassa (Ton)	Rata-rata Biomassa (ton/ha)
Kelas biomassa 1	10840,90	368590,6	34,00
Kelas biomassa 2	9469,22	449598,6	47,48
Kelas biomassa 3	7027,42	1444134,8	205,50

Terjadi kenaikan luasan pada kelas biomassa 1 pada peta sebaran biomassa dengan menggunakan citra ALOS PALSAR 2010 sehingga luasan menjadi 19416.6 ha dengan potensi rata-rata 60,89 ton/ha. Kenaikan luasan dapat terjadi karena adanya penanaman kembali areal terbuka atau perladangan oleh masyarakat serta perubahan kelas biomassa 2 dan 3 ke kelas biomassa 1. Pada kelas biomassa 2 terjadi penurunan luasan total menjadi 6064.57 ha dan potensi rata-rata 43.98 ton/ha. Sedangkan kelas biomassa 3 memiliki luasan sebesar 3112.22 ha dengan potensi biomassa rata-rata 189,5 ton/ha. Perubahan kelas biomassa di hutan sekunder dapat dilihat pada Gambar 6.

Penurunan luasan kelas biomassa 3 mengindikasikan pelepasan stok karbon ke atmosfer bertambah sesuai dengan jumlah biomassa yang hilang. Sedangkan penyerapan karbon secara optimal berada pada kelas biomassa 1 dan kelas biomassa 2. Yang perlu diperhatikan adalah pertambahan kelas biomassa 1 sehingga akan mempengaruhi berkurang atau tidaknya kelas biomassa 2 dan 3. Hal ini dapat pula menjadi indikator perubahan struktur tegakan maupun alih fungsi lahan. Bila pada kelas biomassa 1 dengan rentang nilai biomassa sama dengan nol bertambah lebih banyak maka dapat dipastikan terjadi perubahan fungsi lahan menjadi areal yang lebih terbuka.



Gambar 6. Peta sebaran biomassa di hutan sekunder PT Adaro a) tahun 2007 b) tahun 2010

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pemanfaatan penginderaan jauh untuk mengestimasi penyerapan karbon di daerah reklamasi pertambangan diperoleh nilai biomassa dan karbon rata-rata di areal reklamasi sebesar 239,02 ton/ha dan 119,51 ton/ha, sedangkan nilai biomassa dan karbon rata-rata di areal hutan sekunder PT Adaro adalah sebesar 43,58 ton/ha dan 21,79 ton/ha. Hasil analisis SIG terhadap citra ALOS PALSAR resolusi spasial 12,5 m yang dilakukan pada waktu berbeda, dapat digunakan untuk menganalisis perubahan lahan di daerah reklamasi pertambangan, sehingga dapat dibuat peta sebaran dengan model terpilih yang dapat menggambarkan potensi simpanan serta serapan karbon. Kelas biomassa 1 tahun 2007 mempunyai luasan yang lebih kecil dibandingkan tahun 2010, karena adanya perubahan struktur tegakan kelas biomassa 1 menjadi kelas biomassa 2, tetapi tidak terjadi penambahan penanaman atau perluasan areal reklamasi. Kelas biomassa 2 selanjutnya bertransisi menjadi kelas biomassa 3 dalam kurun waktu 3 tahun. Penambahan luas untuk kelas biomassa 2 sebesar 229,4 ha (1608,92 – 1379,52) dan kelas biomassa 3 sebesar 182,9 ha (5581,88 – 398,98) pada tahun 2007-2010.

### Saran

Setiap perusahaan sebaiknya melaporkan kondisi sekitar tambang secara berkala setiap tahun dalam bentuk citra, sehingga perkembangan kegiatannya dapat dipantau. Model kajian ini disarankan juga digunakan untuk memantau adanya kerusakan lingkungan pada suatu wilayah karena dapat dilakukan dengan cepat dan menghemat waktu untuk cakupan yang luas.

## DAFTAR PUSTAKA

Apps, M., M. Artaxo, D. Barret, J. Canadell, A. Cescatti, G. Churkina, P. Ciaia, E. Cienciala, P. Cox, C. Field, M. Hiemann, E. Holland, R. Houghton, V. Jaramillo, F. Joos, M. Kanninen, J.B. Kauffman, W. Kurz, R.D. Lasco, B. Law, Y. Malhi, R. McMurtrie, Y. Morikawa, D. Mudiyarso, S. Nilsson, W. Ogana, P. Peylin, O. Sala, D. Schimel, P. Smith, G. Zhou and S. Zimov, editors, 2003, *Science statement on current scientific understanding of the processes affecting terrestrial*

*carbon stocks and human influences upon The*. IPCC, Geneva.

Arief, A. 2001. *Hutan dan kehutanan*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Brown, Sandra, 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer*. (FAO Forestry Paper - 134). FAO, Rome.

Hairiah K, Sitompul SM, van Noordwijk M, Cheryl P. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. Dalam M. van Noordwijk, S. Williams and B. Verbist, editors. *Towards integrated natural resources management in forest margins of humid tropics: local action and global concern*. ASB Lecture note 4B. Bogor: ICRAF.

Haygreen JG, Bowyer JL. 1986. Hasil hutan dan ilmu kayu: Suatu Pengantar. Sutjipto A. Hadikusumo, penerjemah. Yogyakarta: Gajah Mada University Press. *Terjemahan dari: Forest Products and Wood Science: An Introduction*.

[JAXA] Japan Aerospace Exploration Agency. 2010. *PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar)*. <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm> [31 Maret 2010].

Kenzo, Tanaka, Tomoaki Ichie, Daisuke Hattori, Takao Itoika, Chihiro Handa, Tadahiro Ohkubo, 2009. Development of allometric relationships for accurate estimation of above and below ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia, *Journal of Tropical Ecology*.

Ketterings QM, Coe, R, van Noordwijk, M, Ambagau, Y, Palm, CA. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 120:199-209.

Roderick, M.L., V. Chewings, and R.C.G. Smith, 2000, Remote sensing in animal and vegetation studies. Dalam L t'Mannetje and R.M. Jones, editors. *Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*, Ed 3rd. CABI, Walingford.

Roshetko, J.M., M. Delaney, K. Hairiah, and P. Purnomosidhi, 2002, Carbon stocks in Indonesia homegarden systems: Can smallholder systems be targeted for increased carbon storage?, *American Journal of Alternative Agriculture*. Vol 17 No 2: 1-10.

Shimada, M., Isoguchi, O., Tadono, T., and Isono, K., 2009. PALSAR Radiometric and Geometric Calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(12), pp. 3915-3932.

van Nordwijk, M., S. Rahayu, K. Hairiah, Y. C. Wulan, A. Farida and B. Verbist, 2002, *Carbon stocks assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis*. Science in China (series C). 45: 75-86.

Zak, D.R, K.S. Pregitzer, P.S. Curtis, C.S. Vogel, W.E. Holmes and J. Lussenhop, 2000, Atmospheric CO<sub>2</sub> Soil-N Availability, and Allocation of biomass and nitrogen by *Populus tremuloides*. *Ecological Application*. Vol. 10 No 1: 34-46