

**INTEGRASI PENGINDERAAN JAUH
DALAM PENGHITUNGAN BIOMASA HUTAN**
Integrating of Remote Sensing in Forest Biomass Measurement

Nurlita Indah Wahyuni

Balai Penelitian Kehutanan Manado
Jl. Raya Adipura Kel. Kima Atas Kec. Mapanget Kota Manado
Telp : (0431) 3666683, Email : nurlita.indah@gmail.com

ABSTRACT

Remote sensing is well known as one tool in forestry activities and its application keeps on developing. One advantage of remote sensing application is in its capability to provide complete data in short time and also cover wide area. The most common final products of remote sensing application in forestry are land cover map, border area map, and stand potential map. With the climate change issue, forest plays a role in sequester carbon from the atmosphere. One common question is that how much forest can save carbon and how to track the change? Direct assessment only produces carbon stock information at current time, but it cannot measure carbon stock in the previous years. The combination of statistical and temporal resolution of remote sensing enables us to produce carbon stock data at one area along with its changes during some years.

Keywords: *Remote sensing, biomass, carbon, forest*

ABSTRAK

Penginderaan jauh telah lama digunakan dalam bidang kehutanan dan aplikasinya terus berkembang. Salah satu kelebihan penginderaan jauh adalah mampu menyediakan data relatif lengkap dalam waktu singkat dan dapat menjangkau wilayah yang luas. Umumnya penginderaan jauh bidang kehutanan menghasilkan produk akhir berupa peta, misalnya peta penutupan lahan, peta batas kawasan dan peta potensi tegakan. Di saat mulai muncul isu perubahan iklim, peran jasa lingkungan kehutanan sebagai dalam menyerap serta menyimpan karbon menjadi semakin penting. Salah satu pertanyaan yang perlu dijawab adalah berapa jumlah karbon yang dapat disimpan oleh hutan dan berapa perubahannya. Pengukuran langsung hanya menghasilkan informasi cadangan karbon saat pengukuran, sedangkan cadangan karbon pada beberapa tahun yang lalu tidak diketahui.

Kelebihan dari kombinasi statistika dan resolusi temporal dari penginderaan jauh memungkinkan diperolehnya informasi cadangan karbon suatu kawasan serta perubahannya dari waktu ke waktu.

Kata kunci: Penginderaan jauh, biomasa, karbon, hutan

I. LATAR BELAKANG

Isu perubahan iklim merupakan salah satu isu global yang menjadi perhatian serius masyarakat dunia. Indonesia adalah salah satu negara yang meratifikasi konvensi perubahan iklim oleh karena itu Indonesia perlu mengetahui berapa jumlah karbon yang teremis atau terserap oleh berbagai sumber, termasuk penggunaan lahan dan kehutanan. Salah satu teknologi untuk mendapatkan informasi cadangan biomasa dan karbon hutan adalah dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Teknologi penginderaan jauh telah lama digunakan dalam berbagai sektor salah satunya sektor kehutanan. Seiring perkembangan teknologi, penginderaan jauh digunakan untuk penghitungan biomasa dan cadangan karbon hutan. Tulisan ini memberikan informasi mengenai penggunaan teknologi penginderaan jauh pada kegiatan penghitungan biomasa hutan.

II. TUJUAN PENULISAN

Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dalam rangka penghitungan biomasa hutan.

III. PENGINDERAAN JAUH DALAM PENGELOLAAN HUTAN

Teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) berawal dari pembuatan potret udara bentang alam pada awal abad ke 19 dan terus berkembang hingga sekarang dimana produk penginderaan jauh berupa data digital yang lebih dikenal dengan sebutan citra satelit. Perkembangan teknologi penginderaan jauh diiringi dengan kemajuan sistem informasi geografis (SIG) yang dalam aplikasinya digunakan bersama-sama. Dengan berbagai keunggulan yang dimilikinya, bidang penginderaan jauh yang pada awalnya merupakan salah satu cabang dalam ilmu geografi, kini telah banyak diterapkan pada berbagai sektor. Lazimnya teknologi ini digunakan

pada sektor-sektor terkait pengelolaan sumberdaya alam dan keruangan seperti pertanian, geologi, kelautan, meteorologi, dan kehutanan.

Lilesand *et al.* (2004) mendefinisikan penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu obyek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena yang dikaji. Aplikasi penginderaan jauh terutama memanfaatkan sifat-sifat dan kelebihan penginderaan jauh dibandingkan pengukuran lapangan. Beberapa kelebihan pengumpulan data menggunakan penginderaan jauh antara lain memudahkan pekerjaan di lapangan karena terbatasnya kemampuan dalam merekam suatu kondisi terutama pada lokasi dengan aksesibilitas yang sulit, cara ini dapat memberikan data yang lengkap dalam waktu relatif singkat serta pemantauan kondisi suatu wilayah yang sama secara berkala.

Beberapa citra satelit sumberdaya alam beserta data spasial yang dihasilkan serta pemanfaatannya disajikan dalam Tabel 1.

Tabel (Table) 1. Satelit sumberdaya alam beserta penggunaannya (*Natural resource satellites and its use*)

No	Nama satelit dan sensor (<i>Satellite and sensor</i>)	Resolusi spasial (m) (<i>Spatial Resolution</i>)	Resolusi temporal (<i>Temporal resolution</i>)	Skala peta tematik yang dihasilkan (<i>Scale of thematic map</i>)	Aplikasi (<i>application</i>)
1	NOAA AVHRR	1000	12 jam	1:5.000.000	Pemantauan biomasa vegetasi hijau pada tingkat nasional atau regional
2	SPOT VEGETATION	800		1:4.000.000	
3	ALOS PALSAR	200		1:1.000.000	
4	MOS MESSR	100		1:500.000	Pemantauan tutupan hutan atau kelas hutan pada level provinsi atau kabupaten
5	ALOS PALSAR MOSAIC	50		1:250.000	
6	LANDAT MSS	80		1:400.000	
7	IRS	75		1:375.000	

No	Nama satelit dan sensor (Satellite and sensor)	Resolusi spasial (m) (Spatial Resolution)	Resolusi temporal (Temporal resolution)	Skala peta tematik yang dihasilkan (Scale of thematic map)	Aplikasi (application)
8	LANDSAT TM/ETM MS	30	16 hari	1:150.000	Pemantauan vegetasi hutan pada tingkat unit pengelolaan
9	LANDSAT ETM + PAN	15	16 hari	1:75.000	Pemantauan vegetasi hutan atau kelas-kelas hutan pada skala unit pengelolaan
10	SPOT 2-4 HRV XS	20	26 hari	1:100.000	
11	SPOT 2-4 HRV PAN	10	26 hari	1:50.000	
12	SPOT 5 HRV XS	10	26 hari	1:50.000	
13	SPOT 5 PAN	5	26 hari	1:25.000	Identifikasi kelas-kelas tutupan hutan skala detail dan estimasi potensi hutan
14	IRS 1C & 1D PAN	5,8	2-4 hari	1:30.000	
15	SPOT 5 SUPER MODE	2,5	26 hari	1:12.500	
16	IKONOS MS	4	2-3 hari	1:20.000	
17	IKONOS PAN	1	2-3 hari	1:5.000	
18	QUICKBIRD MS	2,4	2-3 hari	1:12.000	
19	QUICKBIRD PAN	0,6	2-3 hari	1:3.000	

Sumber (Souce) : Jaya (2011)

Di bidang kehutanan, teknologi penginderaan jauh dimanfaatkan mulai dari tahap perencanaan hingga pengawasan. Beberapa kegiatan tersebut antara lain dalam hal pemetaan tutupan lahan, pemantauan deforestasi, inventarisasi hutan, penataan hutan dan pembukaan wilayah hutan. Dengan semakin berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan tentang penginderaan jauh, pemanfaatannya juga mengikuti permasalahan yang ada. Misalnya saat ini sedang berkembang permasalahan perubahan iklim, maka penginderaan jauh juga dimanfaatkan sebagai salah satu alat untuk mencari solusi. Pemanfaatan penginderaan jauh terutama dalam tahap

penghitungan perubahan penutupan lahan termasuk deforestasi dan degradasi hutan yang berkontribusi terhadap emisi CO₂ sebesar 45,85% CO₂eq terhadap total emisi CO₂(SNC, 2009) seperti tercantum dalam Tabel 2.

Tabel (Table) 2. Jumlah emisi dan serapan gas rumah kaca Indonesia hingga tahun 2000 (10⁶ Ton)(*The amount of green house gasses emissions and sequestration of Indonesia up to 2000 (10⁶ Ton)*)

Sumber (source)	Emisi CO ₂ (emission)	Serapan CO ₂ (sequestration)	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Energi (energy)	305.983		1.221	6	333.540
Industri (industry)	31.938		104		34.197
Pertanian (agriculture)	2.178		2.149	72	75.419
Penggunaan Lahan dan Kehutanan (land use and forestry)	1.060.766		3		649.254
Kebakaran gambut ¹ (peat fire)	172.000				172.000
Sampah (waste)	1.662		7.020	805	151.578
TOTAL					1.415.988

Sumber: van der Werf *et al.* (2008), Kementerian Lingkungan Hidup (2009)

IV. PENGHITUNGAN BIOMASA HUTAN

Pemanasan global dapat diperlambat dengan cara menurunkan emisi atau menambah serapan karbon. Salah satu cara untuk menambah serapan karbon adalah melalui kegiatan penanaman pohon. Hutan terutama hutan primer merupakan tutupan lahan pada daratan yang paling banyak menyimpan karbon dalam bentuk biomasa pohon (Lusiana *et al.*, 2005). Walaupun terbukti memiliki peran sebagai penyerap gas rumah kaca, kehutanan berhadapan dengan isu emisi akibat deforestasi dan degradasi hutan. Sebagai salah satu negara yang meratifikasi konvensi perubahan iklim, Indonesia perlu mengetahui berapa jumlah karbon yang teremisi atau terserap oleh berbagai sumber, termasuk penggunaan lahan dan kehutanan.

Terdapat beberapa cara untuk menghitung biomasa hutan, antara lain penarikan contoh dengan cara memanen (destruktif), penarikan contoh tanpa memanen (non-destruktif), pendugaan biomasa menggunakan penginderaan jauh serta pembuatan model penduga biomasa (Sutaryo,

2009). Pada prinsipnya, penghitungan biomasa hutan diturunkan dari penghitungan potensi hutan. Karena biomasa didefinisikan sebagai total berat atau volume organisme dalam suatu area atau volume tertentu (*a glossary by the IPCC, 1995*), serta total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997).

Jumlah emisi atau serapan CO₂ dapat diestimasi melalui perubahan jumlah karbon yang tersimpan dalam suatu area pada jangka waktu tertentu. Pada umumnya karbon menyusun sebanyak 50% berat kering biomasa (Brown, 1997). Sedangkan jumlah CO₂ dikonversi dengan cara mengalikan jumlah karbon dengan rasio massa senyawa CO₂ dan unsur C yaitu sebesar 3,67. Suatu kawasan dinyatakan mengemisi CO₂ jika perubahan jumlah cadangan karbon bernilai negatif, sebaliknya serapan terjadi saat ada penambahan cadangan karbon yang biasanya berasal dari pertumbuhan vegetasi atau penanaman.

V. PENGHITUNGAN BIOMASA

Biomasa suatu kawasan atau jenis pohon dapat dihitung secara langsung baik melalui cara destruktif maupun dengan menggunakan persamaan alometrik. Cara yang lebih banyak digunakan adalah penggunaan persamaan alometrik yang sudah ada. Walaupun hasil pendugaan dengan cara destruktif atau penyusunan persamaan alometrik dapat memberikan ketelitian hasil yang lebih akurat, namun prosesnya membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Persamaan alometrik didefinisikan sebagai persamaan regresi yang menyatakan hubungan antara dimensi pohon dengan biomassa, dan digunakan untuk menduga biomassa pohon (SNI 7725:2011).

Saat ini telah banyak dibuat persamaan alometrik untuk menghitung biomasa baik untuk tiap jenis maupun tingkat kawasan. Namun suatu persamaan alometrik tidak dapat digunakan begitu saja, karena koefisien dalam persamaan alometrik bervariasi untuk lokasi dan jenis berbeda sehingga dapat mengakibatkan galat dalam pendugaan biomasa pada lokasi berbeda. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan

persamaan alometrik umum antara lain persamaan iklim, tipe ekosistem dan komposisi vegetasi. Di lain hal, persamaan alometrik spesifik dianjurkan untuk digunakan pada pendugaan biomasa dengan jenis tanaman monokultur atau kawasan dengan variasi jenis terbatas atau hanya didominasi jenis tertentu, misalnya pada hutan tanaman atau ekosistem mangrove. Berikut beberapa contoh persamaan alometrik yang sering digunakan dalam kajian biomasa hutan.

Tabel (Table) 3. Beberapa persamaan alometrik dalam perhitungan biomasa (*several allometric equations for biomass accounting*)

No	Jenis biomasa (<i>biomass</i>)	Persamaan alometrik (<i>allometric equations</i>)	Sumber (<i>source</i>)
1.	Pohon bercabang (<i>branched tree</i>)	$B = 0,11\rho D^{2,62}$	Ketterings, 2001
2.	Pohon tidak bercabang (<i>unbranched tree</i>)	$B = (\pi/40)\rho HD^2$	Hairiah, 2002
3.	Nekromas	$B = (\pi/40)\rho HD^2$	Hairiah, 2002
4.	<i>Tectona grandis</i> *	$B = 0,153DBH^{2,382}$	IPCC GPG LULUCF, 2003
5.	<i>Pinus merkusii</i> **	$B = 0,03292 + (DBH^2 + H)^{0,97318}$	Heriyanto <i>et al.</i> , 2005
6.	Biomasa tumbuhan tropik***(<i>biomass of tropic plant</i>) Zona kering (<i>dry zone</i>) Zona lembab (<i>moist zone</i>) Zona basah (<i>wet Zone</i>)	$B = \exp[-1,996 + 2,32 * \ln(D)]$ $B = 42,69 - 12,800 (D) + 1,242 (D^2)$ $B = 21,297 - 6,953 (D) + 0,740 (D^2)$	Brown, 1997

Keterangan:

B = biomasa; D = diameter; ρ = berat jenis kayu; H = tinggi pohon; DBH = diameter setinggi dada;

* kisaran DBH 10-59 cm

** umur tegakan 5-24 tahun

*** zona kering curah hujan <1500 mm/thn; zona lembab curah hujan 1500-4000 mm/thn; zona basah curah hujan >4000 mm/thn

Persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Brown (1997) dapat digunakan pada wilayah tropik namun pohon yang diukur harus memiliki rentang diameter antara 5-148 cm. Selain itu, diperlukan kehati-hatian dalam memilih persamaan tersebut karena menggunakan acuan zonasi berdasarkan jumlah curah hujan. Mengingat pemanasan global yang telah terjadi beberapa dekade terakhir mengakibatkan perubahan curah hujan

dan pergeseran musim. Hal ini dapat menyebabkan persamaan alometrik yang dibuat tahun 1997 lalu kurang dapat menggambarkan jumlah biomasa yang diukur saat ini. Sehingga penghitungan biomasa secara langsung yang paling akurat adalah secara destruktif dan menggunakan persamaan alometrik tingkat jenis.

VI. PENGHITUNGAN BIOMASA MENGGUNAKAN PENGINDERAAN JAUH

Perkembangan teknologi penginderaan jauh saat ini memungkinkan untuk digunakan sebagai alat bantu penghitungan dan pemantauan biomasa skala tutupan lahan, termasuk biomasa hutan. Hal ini bisa dilakukan dengan cara mencari korelasi antara parameter lapangan dengan parameter digital pada citra satelit atau dengan membuat model penduga karbon. Namun persamaan ini hanya digunakan untuk menduga nilai biomasa di atas permukaan tanah. Baik jenis satelit radar maupun optik dapat digunakan untuk menghitung biomasa. Beberapa jenis citra satelit yang telah digunakan untuk menghitung biomasa antara lain Landsat ETM+, SPOT-5, ALOS PALSAR dan QUICKBIRD.

Parameter citra satelit yang biasa digunakan dalam proses pendugaan biomasa adalah indeks vegetasi. Indeks vegetasi adalah indeks yang diperoleh melalui operasi matematis berupa pengurangan, penjumlahan dan rasio antara band inframerah dekat dengan band merah suatu citra satelit. Karena menggunakan band penyerap dan band pemantul spektral dari suatu obyek, maka indeks vegetasi menghasilkan informasi tentang komposisi vegetasi. Dalam kehutanan, kerapatan tajuk (*Forest Canopy Density*) bisa digunakan untuk menghitung indeks vegetasi. Salah satu indeks vegetasi yang sering digunakan dalam pendugaan biomasa hutan adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

NDVI didefinisikan sebagai indeks vegetasi yang memiliki kisaran nilai antara antara -1 sampai dengan 1. Besar nilai NDVI tergantung pada tutupan vegetasi, dimana tutupan lahan dengan vegetasi lebat akan bernilai mendekati 1 sedangkan badan air bernilai -1 dan lahan kosong akan bernilai 0 (Jaya, 2007). Persamaan yang digunakan untuk menghitung NDVI adalah sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Keterangan:

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR : band infra merah dekat (*Near Infra Red*)

RED : band merah

Nilai NDVI ini berfungsi dalam klasifikasi tutupan lahan atau kerapatan tegakan saat penentuan lokasi plot contoh pengukuran biomasa di lapangan. Pendugaan biomasa dengan kombinasi pengukuran lapangan dan penginderaan jauh, dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

- a. Pengolahan data citra satelit, meliputi koreksi citra, klasifikasi penutupan lahan atau kerapatan tegakan dan penentuan plot contoh di citra.
- b. Pengumpulan data lapangan, dilakukan pada plot contoh yang telah dibuat di atas citra.
- c. Perhitungan biomasa, biasanya menggunakan persamaan alometrik.
- d. Penyusunan model, beberapa model disusun berdasarkan korelasi antara nilai biomasa hasil pengukuran lapangan dengan *digital number* pada citra satelit.
- e. Pemilihan model, model terbaik dipilih berdasarkan kriteria koefisien determinasi (R^2), kuadrat tengah sisa (KTS).
- f. Verifikasi model, untuk membandingkan antara hasil penghitungan menggunakan model terpilih dengan hasil pengukuran di lapangan menggunakan persamaan alometrik.

Model penduga nilai biomasa dibuat antara nilai hasil pengukuran di lapangan dengan nilai digital (*Digital Number, DN*) pada citra satelit. Peubah-peubah bebas dalam model penduga tersebut merupakan DN. Setiap model penduga biomasa disusun dengan beberapa kombinasi DN, karena jika hanya menggunakan satu peubah maka model yang dihasilkan kurang bisa merepresentasikan kondisi biomasa di lapangan. Tabel 4 menampilkan beberapa contoh model penduga biomasa menggunakan

citra Landsat ETM+ dan SPOT-5 pada tegakan *Acacia mangium* di BKPH Parung Panjang KPH Bogor. Beberapa model matematika yang biasa digunakan dalam pendugaan biomasa adalah sebagai berikut:

1. Model Linier:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_iX_i$$

2. Model Perpangkatan:

$$Y = b_0X_1^{b1}X_2^{b2} \dots X_j^{bi}$$

3. Model Eksponensial:

$$Y = e^{b_0+b1X_1+b2X_2+\dots+biX_j}$$

Keterangan:

Y = kandungan karbon hasil pengukuran di lapangan

X₁, X₂,...X_j = nilai digital citra satelit (*Digital Number, DN*)

Tabel (Table) 4. Contoh model penduga biomasa *Acacia mangium* menggunakan Landsat ETM+ dan SPOT-5
(*examples of biomass models for acacia mangium using landsat ETM+ and SPOT-5*)

Model Penduga Biomasa (<i>biomass models</i>)	Landsat ETM+	SPOT-5
Model Linier (<i>linear model</i>)	Y = 78+2,22B-2,86G-0,922MIRI	Y = 165-3,66G+1,72R-0,426MIRI
Model Perpangkatan (<i>power model</i>)	Y = 43,448E+11G ^{-3,69} MIRI ^{-2,88}	Y = 1.06865E+13G ^{-4,8} R ^{-0,8} NIR ^{-1,15} MIRI ^{-1,6}
Model Eksponensial (<i>Exponensial model</i>)	Y = e ^{8,89-0,0609G-0,0491MIRI}	Y = e ^{10,6-0,117G-0,0219NIR}

Sumber (*source*): dari Dahlan (2005)

VII. Penutup

Aplikasi penginderaan jauh untuk menduga biomasa hutan menjadi suatu kebutuhan bagi para praktisi perubahan iklim terkait kompleksitas data dan perubahan informasi yang sangat cepat. Penginderaan jauh memudahkan pekerjaan lapangan karena kemampuan dalam merekam suatu kondisi terutama di lokasi dengan aksesibilitas yang sulit, serta dapat memberikan data yang lengkap dalam waktu relatif singkat serta

pemantauan kondisi suatu wilayah yang sama secara berkala. Selain itu model penduga biomasa dapat digunakan untuk menduga biomasa pada citra satelit dengan waktu perekaman yang berbeda. Sehingga dapat dihasilkan informasi perubahan cadangan biomasa pada suatu kawasan antara dua waktu pengamatan (*time-averaged carbon stocks*).

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. FAO Forestry Paper 134. Rome.
- Dahlan, I Nengah Surati Jaya, 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 Jauh Untuk Peningkatan Kesejahteraan Bangsa" Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 14-15 September 2005.
- Goetz, et al. 2009. Mapping and monitoring carbon stocks with Satellite Observations. Carbon Balance and Management. Website:<http://www.cbmjournals.com/content/4/1/2>. Diakses tanggal 13 Januari 2012.
- Hairiah et al. 2001. Carbon Stocks of Tropical Land Use Systems as Part of the Global C Balance: Effects of Forest Conversion and Options for 'Clean Development' Activities. International Centre for Research in Agroforestry Southeast Asian Regional Research Programme. Bogor.
- IPCC Reports Appendix I – Glossary
Website:<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/518.htm> . Diakses tanggal 10 Januari 2012.
- Jaya, INS. 2011. Peranan dan Prospek Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis dalam Pengurusan Hutan. Dalam Modul Pelatihan Penggunaan PALSAR dalam Pemetaan Penutupan Lahan/Hutan 7-12 Februari 2011.
- Jaya, INS. 2007. Analisis Citra Dijital: Perspektif Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Sumberdaya Alam. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Lusiana B, van Noordwijk M, Rahayu S. 2005. Cadangan Karbon di Kabupaten Nunukan Kalimantan Timur: Monitoring Secara Spasial dan Pemodelan. Laporan tim proyek pengelolaan sumberdaya alam untuk penyimpanan

karbon (FORMACS). Bogor: World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA Regional Office.

SNC. 2009. Summary for Policy Makers: Indonesia Second National Communication Under The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). State Minister of Environment. Jakarta.

SNI 7725:2011 tentang Penyusunan persamaan alometrik untuk penaksiran cadangan karbon hutan berdasar pengukuran lapangan (ground based forest carbon accounting). Badan Standardisasi Nasional.

Sutaryo, Dandun. 2009. Penghitungan Biomasa: Sebuah pengantar untuk studi karbon dan penghitungan karbon. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor.