

Makalah Falsafah Sains (PPs 702)
Program Pascasarjana / S3
Institut Pertanian Bogor
June 2005

Dosen:
Prof Dr Ir Rudy C Tarumingkeng (Penanggung Jawab)

PENDUGAAN BEBERAPA PARAMETER TEGAKAN HUTAN TROPIKA DATARAN RENDAH MENGGUNAKAN DATA SATELIT LANDSAT

Studi Kasus di Hutan Lindung G. Beratus, Kalimantan Timur

Oleh:
Hildanus
E.061040061
E-mail: hildh@plasa.com

Abstrak

Penelitian yang bertujuan untuk mencari hubungan matematis terbaik antara nilai NDVI pada citra Landsat dengan jumlah pohon, rata-rata tinggi total, basal area, biomasa bagian pohon di atas permukaan tanah, LAI, dan penutupan tajuk di hutan tropika dataran rendah dilaksanakan di Hutan Lindung Gunung Beratus, Kalimantan Timur, yang merupakan areal bekas tebangan (LOA) dari HPH PT. Balikpapan Forest Industries. Biomasa dan LAI diduga dengan menggunakan persamaan alometrik.

Citra NDVI Landsat berkorelasi dengan rata-rata tinggi total, basal area, biomasa di atas permukaan tanah, LAI, dan penutupan tajuk dari pohon berdiameter 10 cm atau lebih, tetapi tidak mempunyai korelasi dengan jumlah pohon. Model regresi linier antara NDVI Landsat dengan rata-rata tinggi total, basal area, biomasa di atas permukaan tanah, LAI, dan luas penutupan tajuk ialah:

$$\text{Rata-rata tinggi total} = -2,22642 + 57,407\text{NDVI}; R^2 = 54,9 \%$$

$$\text{Basal area} = -42,8128 + 184,070\text{NDVI}; R^2 = 70,6 \%$$

$$\text{Biomasa di atas permukaan} = -527,266 + 2050,68\text{NDVI}; R^2 = 69,1 \%$$

$$\text{LAI} = -16,5396 + 64,7637\text{NDVI}; R^2 = 69,5 \%$$

$$\text{Penutupan tajuk} = 43,5987 + 63,6993\text{NDVI}; R^2 = 5,6 \%$$

Kata kunci: Landsat ETM+, NDVI, persamaan alometrik, parameter tegakan hutan tropika dataran rendah

PENDAHULUAN

Kebanyakan penelitian deforestasi dan perubahan penggunaan lahan yang menggunakan data penginderaan jauh cenderung memfokuskan pada deskripsi vegetasi secara umum (Carlson dan Azofeifa 1999). Misalnya Asrar *et al.* (1984), Tucker *et al.* (1984), dan Goward *et al.* (1991): (diacu dalam Carlson dan Azofeifa 1999) menekankan pada pendugaan terhadap biomasa.

Penginderaan jauh optik dapat menduga biomasa bagian pohon di atas permukaan tanah secara langsung, tetapi tidak dapat menduga biomasa bagian pohon di bawah permukaan tanah secara langsung karena gelombang pendek dari radiasi elektromagnetik tidak dapat menembus tanah (Asrar 1989). Teknik penginderaan jauh tidak mengukur biomasa secara langsung, tetapi menduga biomasa dari hubungan karakteristik hutan di lapangan dengan reflektansi kanopi pada citra satelit (Sader 1988, diacu dalam Brown *et al.* 1989).

Kebutuhan terhadap informasi LAI untuk areal yang luas menyebabkan lebih banyak menekankan penelitian-penelitian mengenai hubungan antara LAI yang diukur di lapangan dengan indek vegetasi dari citra satelit (Brown *et al.* 2000).

Pengukuran LAI secara langsung di lapangan terutama di ekosistem hutan sangat sulit dan mahal (Fassnach *et al.* 1994, diacu dalam Wasrin *et al.* 1997), sehingga teknik pengukuran LAI secara tidak langsung yang cukup murah dan cukup teliti merupakan alternatif yang perlu dikembangkan. Pendekatan pengukuran parameter hutan menggunakan data satelit dan persamaan alometrik merupakan salah satu pendekatan yang dicoba untuk dikembangkan (Wasrin *et al.* 1997).

Persamaan alometrik yang menghubungkan parameter hutan yang mudah diukur dengan volume kayu tegakan, total biomasa, persediaan karbon, dan persediaan hara sering digunakan pada inventarisasi hutan dan kajian-kajian ekologi (Ketterings *et al.* 1999).

Untuk mendapatkan informasi biofisik dalam bentuk indeks dari tanggapan spektral terhadap kenampakan-kenampakan (*features*) permukaan bumi, dapat dengan cara memperbandingkan tanggapan spektral dari pita-pita spektral tertentu untuk setiap kenampakan. Sejumlah indeks vegetasi telah dikembangkan dan banyak

digunakan oleh para ahli penginderaan jauh. Indeks vegetasi yang paling umum ialah *normalized difference vegetation index* (NDVI).

Banyak penelitian indeks vegetasi menggunakan NDVI karena ia dapat memperkecil pengaruh topografi (Holben dan Justice 1981, diacu dalam McGwire *et al.* 2000), tidak memerlukan pengetahuan tentang kondisi lapangan yang rinci, dan sensitif terhadap fotosintesis (Myneni *et al.* 1992 dan Tucker 1979: diacu dalam McGwire *et al.* 2000).

Untuk mengetahui variabel ekologi (seperti biomasa di atas-permukaan atau LAI) menggunakan data satelit, dapat dilakukan dengan menganalisis hubungan antara indeks spektral dengan variabel ekologi melalui analisis regresi (Lawrence dan Ripple 1998 dan Gong *et al.* 1995: diacu dalam Thenkabail *et al.* 2000).

Beberapa penelitian mendapatkan bahwa data Landsat TM berhubungan erat dengan indikator kerapatan vegetasi seperti biomasa, persen penutupan dan populasi tumbuhan (Jaya dan Kobayashi 1994). Di antara sensor-sensor yang biasa digunakan, data TM lebih baik korelasinya dengan variabel-variabel hutan tertentu (Brockhaus dan Khorram 1996, diacu dalam Andersen 1998).

Penelitian ini bertujuan untuk mencari hubungan matematis terbaik antara nilai NDVI pada citra Landsat dengan jumlah pohon, rata-rata tinggi total, basal area, biomasa bagian pohon di atas permukaan tanah, LAI, dan penutupan tajuk dari pohon berdiameter 10 cm ke atas di hutan alam tropis.

Batasan yang digunakan untuk pohon berdiameter ≥ 10 cm berdasarkan Lugo dan Brown (1992), bahwa pendugaan biomasa hutan tropik selama ini memfokuskan pada biomasa di atas-permukaan untuk pohon diameter minimum 10 cm dan luasan yang kecil.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian terdiri dari kegiatan pengecekan lapangan di Hutan Lindung Gunung Beratus yang berada dalam areal kerja HPH PT. Balikpapan Forest Industries (PT. BFI), Kalimantan Timur, dan kegiatan pengolahan citra serta analisis data

dilaksanakan di Laboratorium Ekologi Hutan Fakultas Kehutanan IPB Bogor. Penelitian berlangsung dari bulan Juni 2001 sampai dengan Oktober 2001.

Prosedur Penelitian

Penelitian mencakup kegiatan pengolahan citra, pengumpulan dan analisis data lapangan (jumlah pohon, rata-rata tinggi total, basal area, biomasa pohon di atas permukaan tanah, LAI, dan penutupan tajuk).

Pengolahan citra

Dataset Landsat Multispektral, *path-row* 117-061 yang diakuisisi tanggal 26 Juni 2001 *full scene*, dipotong kira-kira sama dengan liputan area penelitian. Citra yang telah dipotong dikoreksi geometris dengan cara meregistrasinya dengan citra lain yang telah dikoreksi geometris atau menggunakan peta topografi dan peta areal kerja PT. BFI.

Sistem datum yang digunakan ialah WGS 84 dengan proyeksi *Universal Transverse Mercator* (UTM) pada zone 50 *South* (S).

Dengan menggunakan transformasi Affine dan 4 GCP pada registrasi citra, diperoleh rata-rata *root mean square error* (RMSE) sebesar 0.157. Hal ini telah memenuhi syarat bahwa jumlah GCP minimum untuk transformasi Affine minimal 3, dan rata-rata RMSE harus kurang dari 0.5 piksel.

Interpretasi visual dilakukan sebagai dasar untuk penentuan letak plot-plot contoh pada citra. Interpretasi citra secara visual dilakukan dengan mengidentifikasi dan mendelinasikan kelas-kelas penutupan dan penggunaan lahan berdasarkan unsur-unsur interpretasi: ukuran, bentuk, *tone/* warna, bayangan, tekstur, pola, lokasi, dan asosiasi (Lillesand dan Kiefer 1997). Kelas-kelas penutupan lahan didefinisikan berdasarkan Klasifikasi FAO pada Lampiran 1.

Khusus untuk penutupan hutan yang diklasifikasikan menjadi hutan rapat (*closed forest: high density*), hutan kerapatan sedang (*closed forest: medium density*), dan hutan jarang (*opened forest*) pada analisis visual berdasarkan klasifikasi FAO, pada tiap kelas tersebut dibuat plot contoh berukuran 80 x 80 m. Plot-plot contoh

ditentukan pada citra sebelum penentuannya di lapangan, dimana plot ditempatkan dekat dengan ciri-ciri alam maupun buatan (contohnya persimpangan sungai dan persimpangan jalan) yang terlihat di citra. Ciri-ciri tersebut akan mempermudah mencari lokasi plot contoh di lapangan. Koordinat-koordinat plot contoh yang ditentukan pada citra digunakan sebagai acuan untuk membuat plot-plot contoh di lapangan.

Dataset Landsat dirubah menjadi citra indeks vegetasi menggunakan transformasi *Normal Difference Vegetation Index* (NDVI).

$$NDVI = (NIR - red) / (NIR + red)$$

Nilai indeks vegetasi pada citra Landsat dikorelasikan dengan data lapangan (jumlah pohon, rata-rata tinggi total, basal area, biomasa pohon di atas permukaan tanah, LAI, dan penutupan tajuk).

Pengumpulan data lapangan

Untuk pengumpulan data lapangan dibuat plot-plot contoh sesuai plot-plot contoh yang telah ditentukan di citra. Koordinat plot contoh di lapangan ditentukan dengan GPS sesuai koordinatnya di citra. Pada plot-plot contoh dibuat petak-petak pengamatan berukuran 10 x 10 m.

Semua pohon berdiameter ≥ 10 cm dalam plot pengamatan dicatat, dan dilanjutkan dengan pengukuran diameter setinggi dada, tinggi bebas cabang, tinggi total, posisi batang, dan proyeksi tajuk. Diameter setinggi dada diukur menggunakan *phi-band* pada ketinggian 1,3 meter di atas permukaan tanah untuk pohon yang tidak berbanir atau 10 – 30 cm (rata-rata 20 cm) di atas banir. Pengukuran tinggi pohon menggunakan hagameter atau blumeleiss. Pengukuran posisi batang dan proyeksi tajuk digambarkan pada kertas milimeter langsung di lapangan.

Basal area dihitung dengan rumus $0,7854 \times D^2$. Biomasa di atas permukaan tanah dan LAI dihitung dengan persamaan alometrik dari Ogawa (1965, 1976, 1985, 1992: diacu dalam Wasrin *et al.* 1997) sebagai berikut:

Untuk hutan primer:

$$ws = 0,0396 (D^2H)^{0,9326}$$

$$wb = 0,00602 (D^2H)^{1,027}$$

$$wl = ws / (13,75 + 0,025 ws)$$

$$B = ws + wb + wl$$

$$LAI = ws / (0.907 + 0.00205 ws)$$

Untuk hutan sekunder:

$$ws = 0,0396 (D^2H)^{0,9326}$$

$$wb = 0,003487 (D^2H)^{1,027}$$

$$wl = ws / (22,5 + 0,025 ws)$$

$$B = ws + wb + wl$$

$$LAI = ws / (0.907 + 0.00205 ws)$$

Dimana ws adalah biomasa batang, wb adalah biomasa cabang, wl adalah biomasa daun, B adalah total biomasa, dan LAI adalah leaf area index.

Hutan Lindung G. Beratus Kalimantan Timur merupakan areal bekas tebangan (*log over area/* LOA) dari HPH. PT. BFI, sehingga perhitungan biomasa dan LAI menggunakan persamaan alometrik untuk hutan sekunder.

Analisis data

Model regresi linier sederhana antara parameter tegakan hutan (jumlah pohon, rata-rata tinggi total, basal area, biomasa pohon di atas permukaan tanah, LAI, atau penutupan tajuk) dengan nilai indeks vegetasi yaitu:

$$Y = b_0 + b_1X$$

Dimana:

Y = parameter tegakan hutan (jumlah pohon, rata-rata tinggi total, basal area, biomasa pohon di atas permukaan tanah, LAI, atau penutupan tajuk)

X = nilai indeks vegetasi

b_0 dan b_1 = konstanta/ parameter model

Untuk menunjukkan ada atau tidak hubungan antara parameter tegakan hutan (jumlah pohon, rata-rata tinggi total, basal area, biomasa pohon di atas permukaan tanah, LAI, atau penutupan tajuk) dengan nilai NDVI dilakukan pengujian hipotesis. Uji yang digunakan adalah uji F pada taraf nyata 95%.

Untuk menentukan tingkat ketelitian model atau menunjukkan persentase kemampuan peubah bebas (nilai indeks vegetasi) dalam menjelaskan peubah tidak bebas (parameter tegakan hutan) digunakan koefisien determinasi (R^2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini ditentukan hubungan antara beberapa parameter tegakan hutan (jumlah pohon, rata-rata tinggi total, basal area, biomasa di atas permukaan tanah, LAI, dan penutupan tajuk) dengan NDVI pada citra Landsat. Biomasa dan LAI ditentukan secara tidak langsung menggunakan persamaan alometrik dari hasil pengukuran diameter pohon dan tinggi pohon, karena menurut Wasrin *et al.* (1997) LAI pada vegetasi alam sangat sulit diukur secara langsung.

Rata-rata per hektar jumlah pohon, basal area, biomasa pohon di atas permukaan tanah, LAI, dan penutupan tajuk untuk pohon berdiameter minimal 10 cm dari tiga plot pengamatan di Hutan Lindung G. Beratus, Kalimantan Timur dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata per hektar jumlah pohon, basal area, biomasa, LAI, dan penutupan tajuk pada plot pengamatan

Plot	Jumlah Pohon (per ha)	Basal Area (m^2/ha)	Biomasa (ton/ha)	LAI (ha/ha)	Penu-tupan Tajuk (%)
1	389	24,218	209,312	6,709	58,62
2	441	28,404	251,711	8,077	70,47
3	375	21,839	185,951	5,973	69,59
Rata-Rata	401	24,820	215,658	6,920	67,89

Uji F pada taraf nyata 95 % mendapatkan bahwa NDVI pada Landsat berkorelasi dengan rata-rata tinggi total, basal area, biomasa, LAI, dan penutupan tajuk, tetapi tidak berkorelasi dengan jumlah pohon. Satyanarayana *et al.* (2001) juga menemukan bahwa NDVI tidak berhubungan dengan kerapatan. Hal ini karena

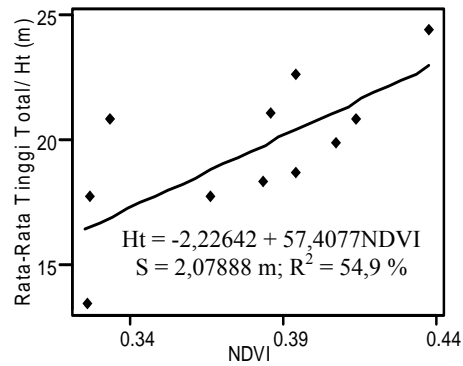
kerapatan yang menyatakan jumlah individu per satuan luas bukan indikator yang baik untuk jumlah vegetasi seperti yang terlihat di citra satelit. Rosalina (1987) (diacu dalam Wasrin *et al.* 1997) juga menemukan bahwa LAI, biomasa, dan penutupan vegetasi mempunyai hubungan dengan nilai pantulan spektral data satelit.

Persamaan regresi dan koefisien determinasi (R^2) dari hubungan NDVI pada Landsat dengan jumlah pohon, rata-rata tinggi total, basal area, biomasa, LAI, dan penutupan tajuk dapat dilihat pada Tabel 2.

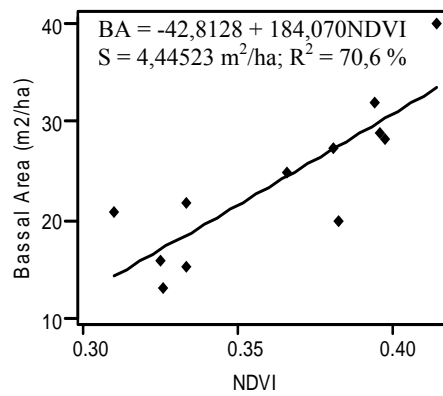
Tabel 2. Model regresi linier antara NDVI dengan beberapa parameter tegakan hutan

Parameter	Model Regresi Linier
Jumlah Pohon (N)	$N = 471,321 - 227,351NDVI$; $S = 71,2078$ pohon/ha; $R^2 = 1,6 \%$
Rata-Rata Tinggi Total (Ht)	$Ht = -2,22642 + 57,407NDVI$; $S = 2,07888$ m; $R^2 = 54,9 \%$
Basal Area (BA)	$BA = -42,8128 + 184,070NDVI$; $S = 4,44523$ m ² /ha; $R^2 = 70,6 \%$
Biomasa (Bio)	$Bio = -527,266 + 2050,68NDVI$; $S = 51,3313$ ton/ha; $R^2 = 69,1 \%$
Indeks Luas Daun (LAI)	$LAI = -16,5396 + 64,7637NDVI$; $S = 1,60547$ ha/ha; $R^2 = 69,5 \%$
Penutupan (CC)	$CC = 43,5987 + 63,6993NDVI$; $S = 9,81106$; $R^2 = 5,6 \%$

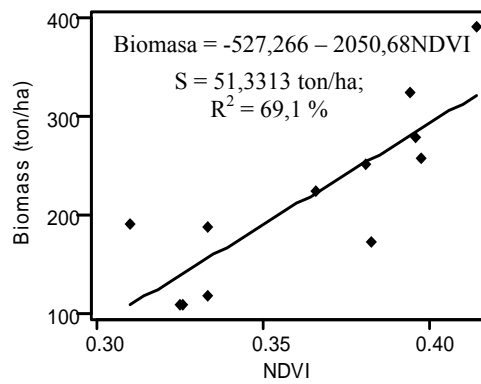
Kurva regresi linier antara NDVI Landsat dengan rata-rata tinggi total dapat dilihat pada Gambar 1, dengan basal area pada Gambar 2, dan dengan biomasa pada Gambar 3.



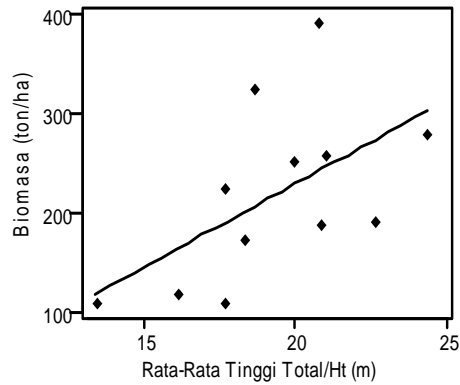
Gambar 1. Kurva regresi linier antara NDVI pada Landsat dengan rata-rata tinggi total.



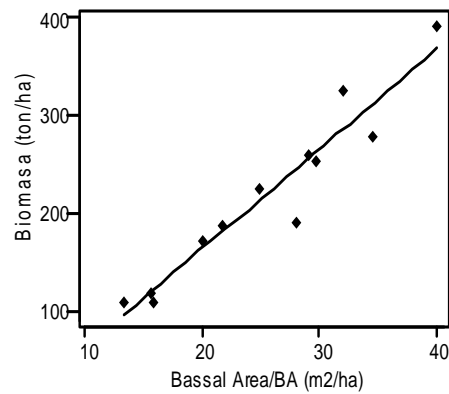
Gambar 2. Kurva regresi linier antara NDVI pada Landsat dengan basal area.



Gambar 3. Kurva regresi linier antara NDVI pada Landsat dengan biomasa.



(a)



(b)

Gambar 10. (a) Kurva regresi linier antara biomasa di atas permukaan tanah dengan rata-rata tinggi total, dan (b) kurva regresi linier antara biomasa di atas permukaan tanah dengan basal area.

Memperhatikan Gambar 1, 2, dan 3 terlihat kurva hubungan antara NDVI dengan biomasa di atas permukaan tanah lebih menyerupai kurva hubungan antara NDVI dengan basal area daripada menyerupai kurva hubungan antara NDVI dengan rata-rata tinggi total. Ini membuktikan bahwa biomasa hasil perhitungan persamaan alometrik yang digunakan lebih erat korelasinya dengan diameter pohon daripada dengan tinggi pohon, seperti diperlihatkan Gambar 4.

Tinggi dapat penduga yang baik untuk total masa vegetasi suatu tegakan, tetapi tidak begitu relevan untuk menjelaskan fungsi dan struktur kanopi (Lefsky *et al.* 1999).

Koefisien determinansi (R^2) dari hubungan antara parameter tegakan hutan dengan NDVI yang rendah disebabkan oleh beberapa hal:

- LAI yang didapatkan pada penelitian ini sebesar 6,92 (Lihat Tabel 1). Kuantifikasi terhadap struktur vegetasi menggunakan data penginderaan jauh kurang berhasil apabila LAI besar dari 3 (Lefsky *et al.* 1999).
- Teknik pendugaan biomasa dan LAI menggunakan persamaan alometrik tidak cocok diterapkan untuk tajuk hutan alam yang mempunyai variasi celah (mosaik) yang beragam sehingga akan memberikan bias yang cukup besar. Metoda pengukuran LAI secara tidak langsung hanya cocok untuk tajuk hutan yang homogen/ seragam (Villaloes 1995, diacu dalam Wasrin *et al.* 1997).

KESIMPULAN

Citra NDVI Landsat berkorelasi dengan rata-rata tinggi total, basal area, biomasa di atas permukaan tanah, LAI, dan penutupan tajuk dari pohon berdiameter 10 cm atau lebih, tetapi tidak mempunyai korelasi dengan jumlah pohon. Model regresi linier antara NDVI Landsat dengan rata-rata tinggi total, basal area, biomasa di atas permukaan tanah, LAI, dan luas penutupan tajuk ialah:

Rata-rata tinggi total = $-2,22642 + 57,407\text{NDVI}$; $R^2 = 54,9 \%$

Basal area = $-42,8128 + 184,070\text{NDVI}$; $R^2 = 70,6 \%$

Biomasa di atas permukaan = $-527,266 + 2050,68\text{NDVI}$; $R^2 = 69,1 \%$

LAI = $-16,5396 + 64,7637\text{NDVI}$; $R^2 = 69,5 \%$

Penutupan tajuk = $43,5987 + 63,6993\text{NDVI}$; $R^2 = 5,6 \%$

Daftar Pustaka

Andersen GL. 1998. Classification and Estimation of Forest and Vegetation Variables in Optical High Resolution Satellites: A Review of Methodologies. Interim Report IR-98-085/ October 1998. International Institute for Applied Systems Analysis.

- Asrar G, editor. 1989. Theory and Applications of Optical Remote Sensing. John Wiley & Sons.
- Brown L, Chen JM, Leblanc SG, Cihlar J. 2000. A Shortwave Infrared Modification to the Simple Ratio for LAI Retrieval in Boreal Forests: An Image and Model Analysis. *J Remote Sens. Environ.* 71:16–25.
- Brown S, Gillespie AJR, Lugo AE. 1989. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science.* 35,4:881–902.
- Carlson TN, Azofeifa GAS. 1999. Satellite Remote Sensing of Land Use Changes in and Around San Jose, Costa Rica. *J Remote Sens. Environ.* 70:247–256.
- Ketterings QM, Coe R, van Noordwijk M, Ambagau Y, Palm CA. 2001. Reducing Uncertainty in the Use of Allometric Biomass Equation for Predicting Above-Ground Tree Biomass in Mixed Secondary Forest. *Forest Ecology and Management* 146 (2001); hlm. 199–209.
- Lefsky MA *et al.* 1999. Lidar Remote Sensing of the Canopy Structure and Biophysical Properties of Douglas-Fir Western Hemlock Forests. *J Remote Sens. Environ.* 70:339–361.
- Lugo AE, Brown S. 1992. Tropical Forests as Sinks of Atmospheric Carbon. *J Forest Ecology and Management.* 54:23–255.
- McGwire K, Minor T, Fenstermaker. 2000. Hyperspectral Mixture Modeling for Quantifying Sparse Vegetation Cover in Arid Environments. *J Remote Sens. Environ.* 72:360–374.
- Satyanarayana B, Thierry B, Seen DL, Raman AV, Muthusankar G. 2001. Remote Sensing in Mangrove Research – Relationship between Vegetation Indices and Dendrometric Parameters: A Case for Coringa, East Coast of India. Paper presented at 22nd Asian Conferenced on Remote Sensing, 5–9 November 2001, Singapore.
- Thenkabail PS, Smith RB, De Pauw E. 2000. Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. *J Remote Sens. Environ.* 71:158–182.

Wasrin UR, Murdiyarso D, Arief M, Hidayat A. 1997. Metode Deteksi dan Pemantauan Perubahan Ekosistem Hutan Secara Digital dengan Satelit Resolusi Tinggi. Laporan Riset. Riset Unggulan Terpadu II Bidang Penginderaan Jauh Tahun 1994–1997. Dewan Riset Nasional. Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi. 123 hal.