

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/238489680>

KORELASI STOK KARBON DENGAN KARAKTERISTIK SPEKTRAL CITRA LANDSAT: STUDI KASUS GUNUNG PAPANDAYAN

Article · January 2005

CITATIONS

3

READS

1,354

3 authors, including:



Yaya Ulumuddin

Indonesian Institute of Sciences

11 PUBLICATIONS 40 CITATIONS

SEE PROFILE



Endah Sulistyawati

Bandung Institute of Technology

33 PUBLICATIONS 56 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Thesis project [View project](#)



Methane Production and Emissions in Evolving Mangrove Forests: An Ecological Mangrove Rehabilitation in Tanakeke Island, South Sulawesi-Indonesia. [View project](#)

KORELASI STOK KARBON DENGAN KARAKTERISTIK SPEKTRAL CITRA LANDSAT : STUDI KASUS GUNUNG PAPANDAYAN

Yaya I. Ulumuddin¹, Endah Sulistyawati¹, Dudung M. Hakim², dan Agung Budi Harto²

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Bandung, Labtek XI, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia
Telp. (022)2511575, Fax. (022)2500258
email : endah@bi.itb.ac.id, amijundi@yahoo.com

²Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Bandung, Labtek IX C, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia
Telp/Fax. (022)2530701
email: agung@gd.itb.ac.id

Abstrak

Correlation Between Carbon Stock And Landsat Spectral Characteristic (*Case Study : Mt. Papandayan*). A study about carbon stock estimation and its correlation with Landsat spectral characteristics were conducted in Mt. Papandayan as the first step for development of a model to estimate carbon stocks from remotely sense data. Carbon stock was estimated from field measurements by using Ketterings allometry methods. Landsat spectral characteristics for Mt. Papandayan were extracted from Landsat ETM 2001. Correlation between carbon stock and spectral characteristics were tested by Pearsons bivariate correlation and multiple regression stepwise methods. The range of carbon stock of the forests were 56.46-405.64Mg/Ha. The bivariate analysis showed that there was a strong correlation between carbon stocks and the values of digital numbers in single band, vegetation indices and some texture measures (The highest R was 0,686). By using multiple regression test, the carbon stocks correlated with a number of combinations of spectral data. Indeed, the magnitude of correlation from the multiple regression test was stronger than from the bivariate analysis, i.e. the R was 0,992. This relationship pattern would be needed for development of a model to estimate carbon stocks from remote sensing data.

Keywords : carbon estimation, allometry, correlation, regression.

1. PENDAHULUAN

Hasil penelitian masa kini dan prediksi perubahan lingkungan di masa yang akan datang menunjukkan perubahan lingkungan yang sangat cepat dan bisa menjadi ancaman bagi kehidupan manusia. Salah satu contohnya yaitu perubahan konsentrasi CO₂ atmosferik yang peningkatannya diindikasikan berkorelasi dengan peningkatan suhu atmosfer (MacCracken & Luther, 1985 dalam Hengereld, 1995). Peningkatan suhu atmosfer ini dianggap sebagai ancaman bagi kehidupan manusia, yaitu berupa gangguan kesehatan,

kekurangan pangan dan kerusakan lingkungan (Anonim, 2003; Mendelsohn dan Dinar, 1999; Fischer *et al.*, 2002).

Ancaman itu telah menjadi perhatian masyarakat internasional yang terimplementasi dalam Protokol Kyoto. Di dalam protokol ini terdapat isu terpenting dalam menghadapi perubahan lingkungan yaitu kesepakatan negara-negara maju untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) pada tingkat emisi tahun 1990 pada periode 2008-2012 nanti (Murdiyarto, 2003).

Penurunan GRK di atmosfer, terutama CO₂, tidak

hanya dengan menurunkan emisi, tetapi perlu diiringi dengan meningkatkan penyerapan GRK tersebut. Melalui fotosintesis, CO₂ 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 *et al.*, 2003).

Di dalam Protokol Kyoto, mekanisme penurunan emisi tersebut diatur melalui program *Clean Development Mechanism* (CDM, artikel 12). Di dalam program ini negara-negara berkembang dapat memperoleh dana investasi dari negara maju untuk mendanai proyek-proyek yang dapat menurunkan tingkat emisi, seperti proyek pengembangan teknologi rendah emisi dan proyek di sektor kehutanan yang dapat meningkatkan penyerapan karbon atmosferik. Proyek di sektor kehutanan pada prinsipnya dilakukan dengan memperluas areal hutan atau mencegah deforestasi.

Bisa memperoleh dana investasi ataupun tidak, isu peningkatan suhu global menunjukkan pentingnya fungsi ekologis hutan sebagai penyerap karbon atmosferik. Hal ini menambah arti penting konservasi hutan selain untuk menyelamatkan keanekaragaman hayati. 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 metoda-metoda untuk estimasi stok karbon serta memantau perubahannya secara sewaktu.

Hingga saat ini, metoda 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 (Melillo *et al.*, 1993 dalam Zak *et al.*, 2000). Adapun metoda estimasi biomassa salah satunya adalah metoda alometri. 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 menghubungkan biomassa sebagai variabel tak bebas dan DBH sebagai variabel

bebas. Metoda ini telah banyak diaplikasikan untuk estimasi stok karbon pada berbagai tipe vegetasi di Indonesia (van Noordwijk *et al.*, 2002; Roshetko *et al.*, 2002; Hairiah *et al.*, 2001). Namun sejauh ini belum ada penelitian untuk mengukur besarnya stok karbon terutama di hutan pegunungan di Pulau Jawa.

Untuk mengestimasi stok karbon pada suatu kawasan yang lebih luas diperlukan suatu cara untuk mengekstrapolasi hasil pengukuran berbasis plot (dengan alometri) ke tingkat bentang alam. Salah satu metoda 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. Karena karakteristik spektral tergantung pada karakteristik objek (Roderick *et al.*, 2000), maka Ustin *et al.* (1999) mengkaji asosiasi ini, misalnya dengan mengkaji asosiasi karakteristik spektral dengan karakteristik biofisik (luas dan distribusi daun) dan fisiologis tumbuhan (kandungan air, selulosa dan senyawa karbon lain). Adanya kajian Ustin *et al.* (1999) menunjukkan kemungkinan adanya hubungan atau korelasi antara karakteristik biofisik lainnya, misalnya stok karbon dengan karakteristik spektral. Aspek inilah yang menjadi kajian dalam penelitian ini.

Pada penelitian ini akan dilakukan estimasi biomassa untuk menentukan stok karbon dengan metoda alometri pada berbagai tipe komunitas hutan. Kemudian akan dilihat korelasinya dengan karakteristik spektral citra Landsat. Pada penelitian selanjutnya pola korelasi yang diperoleh ini akan digunakan untuk mengembangkan suatu metoda estimasi stok karbon dari tingkat plot ke tingkat bentang alam berupa model persamaan umum: $Y = aX^b + c$, dengan Y adalah stok karbon, X adalah karakteristik spektral dan a, b, c adalah konstanta.

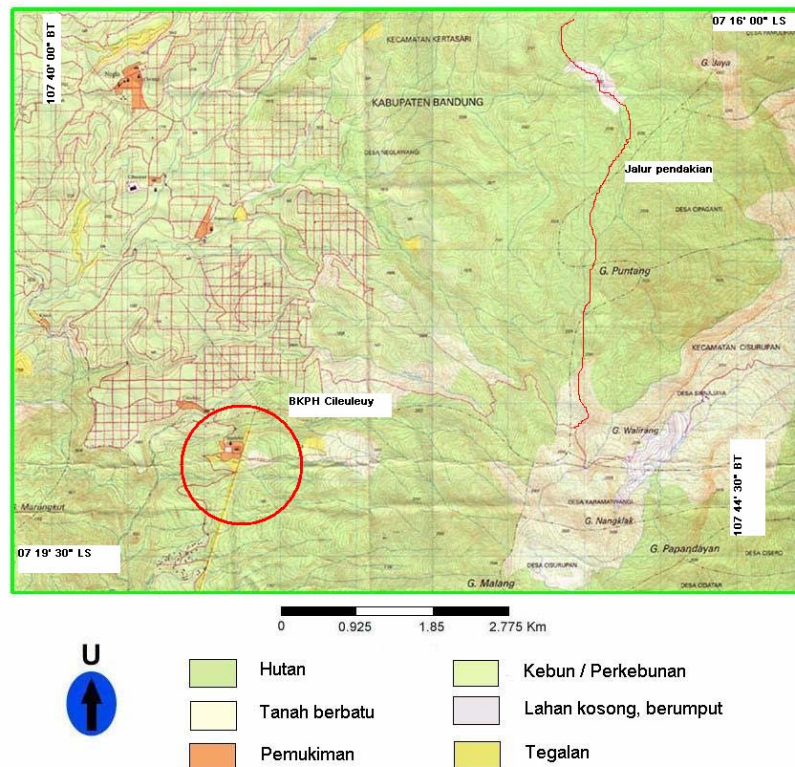
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Area Studi

Penelitian ini telah dilakukan di Kawasan

Papandayan yang berada di Kabupaten Garut, Jawa Barat (Gambar 1). Kawasan Papandayan terdiri dari hutan alam dan hutan tanaman di kakinya. Hutan alam dikelola oleh BKSDA dan dijadikan sebagai cagar alam, sedangkan hutan tanaman dikelola oleh PT Perhutani. Hutan tanaman terdiri dari hutan lindung dan hutan produksi untuk

produksi kayu dan getah. Kawasan Papandayan berada pada ketinggian 2638 m dpl, curah hujan tahunan 3000 mm, suhu udara rata-rata 10°C dan kelembaban udara antara 70-80 % (HufnagI, 2002).



Gambar 1. Lokasi Pengamatan

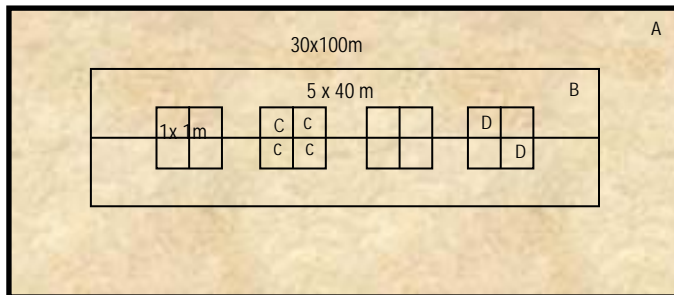
2.2. Estimasi Stok Karbon

Penelitian dilakukan pada tapak yang berbeda yaitu hutan dammar (*Agathis dammara*), rasamala (*Altingia excelsa*), pinus (*Pinus merkusii*), hutan alam, dan padang ilalang. Untuk mengestimasi stok karbon pada masing-masing tapak, metoda yang digunakan yaitu desain metoda yang dikembangkan oleh Hairiah *et al.* (2001) yang dimodifikasi. Estimasi stok karbon pada masing-masing tapak dilakukan pada plot bertingkat (Gambar 2.). Plot bertingkat didesain untuk mengakomodasi pengukuran masing-masing tipe stok karbon, karena stok karbon pada satu

ekosistem hutan terdiri dari stok karbon *above ground* (pohon, *understorey* dan serasah) dan *below ground* (akar dan materi organik tanah). Namun pada penelitian ini tidak dilakukan estimasi stok karbon akar.

Pada plot A dan B dilakukan pengukuran DBH pohon, untuk DBH>30 cm pada plot A dan 5<DBH<30 cm pada plot B. Pada masing-masing plot C dilakukan panen tegakan untuk *understorey* (herba, perdu dan pohon, DBH<5 cm) dan pencuplikan tanah yaitu pencuplikan tanah dengan bor tanah (*Auger*) sedalam 20 cm dan sampel tanah utuh untuk mengukur *bulk density* dengan *core*

sampler. Dari setiap plot D, serasah dikumpulkan dan dibawa untuk diukur stok karbonnya.



Gambar 2. Plot Penelitian

Untuk memperoleh nilai stok karbon pada plot yang dilakukan estimasi, maka stok karbon pohon dihitung dengan persamaan:

$$W = 0.188 D^{2.53} \quad (1)$$

(Brown *et al.*, 1995 dalam Hairiah *et al.*, 2001) dengan W adalah biomassa dan D adalah diameter pohon yang diperoleh dari pengumpulan data pada plot A dan B. Karbon stok *understorey* dan serasah diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\text{Biomassa total (kg/m}^2\text{)} = \frac{\text{Berat basah total (kg)} \times \text{subsampel berat kering (g)}}{\text{Berat basah subsampel (g)} \times \text{luas area (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

(Hairiah *et al.*, 2001) dengan berat basah total diperoleh dari pengumpulan data pada plot C (*understorey*) dan D (serasah). Dari perhitungan tadi diperoleh biomassa pohon dan *understorey* dan *necromass* serasah. Stok karbon untuk ketiga komponen ini diperoleh dengan menghitung kandungan karbon dari biomassa/*necromass* yaitu sebesar 40 % (Melillo *et al.*, 1993 dalam Zak *et al.*, 2000). Adapun stok karbon tanah dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Bulk Density (BD) (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Berat kering (g)}}{169.157 \text{ cm}^3} \quad (3)$$

$$\text{Kandungan C tanah (Mg/Ha pada kedalaman 0-20 cm)} = \text{BD} \times 200 \text{ Kg/m}^2 \times \text{konsentrasi C (\%)} \times 10 \quad (4)$$

(MacDicken, 1997) dengan konsentrasi C tanah diukur melalui analisa fisikokimia sampel tanah yang dicuplik menggunakan *auger* pada pengumpulan data pada plot C. Setelah dilakukan penjumlahan dari semua komponen tadi, kemudian satuan nilai stok karbon dikonversi ke satuan mega gram per hektar (Mg/Ha), sebagai stok karbon plot.

2.3. Ekstraksi Karakteristik Spektral

Pada penelitian ini digunakan citra Landsat ETM tahun 2001 yang diperoleh dari Laboratorium Pengolahan Citral dan Sistem Informasi Spasial (PCISIS) Departemen Teknik Geodesi ITB. Data citra yang digunakan sudah mengalami koreksi radiometrik dan geometrik. Pengolahan data selanjutnya, yaitu proses ekstraksi karakteristik spektral, dilakukan di Laboratorium Analisis Ekosistem Terrestrial Departemen Biologi ITB. Software yang digunakan yaitu ER. Mapper 5.5.

Ekstraksi karakteristik spektral, yang disebutkan di atas, dilakukan pada *pixel* yang posisi di citra sesuai dengan posisi geografis di permukaan bumi. Hal ini dapat diperoleh dengan bantuan peta rupabumi terbitan BAKOSURTANAL dan GPS Magellan 315. Karakteristik spektral yang diekstrak yaitu *digital number* (DN) untuk tiap kanal, indeks vegetasi dan *texture measure* (pengukuran tekstur).

Kanal yang digunakan yaitu semua kanal Landsat ETM kecuali kanal 6. Indeks vegetasi yang digunakan yaitu empat tipe indeks vegetasi, yaitu rasio sederhana, rasio yang telah dinormalisasi, kombinasi linier berbagai jenis pita, dan indeks vegetasi kompleks (Tabel 1) Adapun pengukuran tekstur yaitu rata-rata, variansi, *skewness* dan *kurtosis* (Tabel 2) dengan *pixel windows* 3x3, 5x5 atau 7x7.

2.4. Analisis Statistik

Uji statistik korelasi bivariat *Pearsons* digunakan untuk melihat hubungan antara stok karbon dengan

karakteristik spektral (kanal tunggal, indeks vegetasi dan pengukuran tekstur). Dalam hal ini stok karbon sebagai variabel tak bebas dan karakteristik spektral sebagai variabel bebas. Adapun untuk mencari kombinasi karakteristik spektral terbaik yang berkorelasi linier dengan stok karbon dilakukan regresi berganda metoda *stepwise*. Dalam melakukan kedua uji ini, *software* yang digunakan yaitu SPSS 10.00. Hasil uji statistik dinyatakan dengan koefisien korelasi (R). Koefisien ini menunjukkan kekuatan hubungan linier antara variabel bebas dan tak bebas. Jika nilai koefisien mendekati satu (R=1), artinya hubungan antara dua variabel itu kuat (Lu *et al.*, 2002). Jika nilai koefisien R<0,4 menunjukkan hubungan yang lemah (Young, 1982 dalam Sulaiman, 2002).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari dua puluh plot penelitian, terdapat lima plot yang diduga akan menyebabkan berkurangnya nilai koefisien korelasi. Dari lima plot tersebut, tiga plot berupa padang ilalang (plot Tegal Panjang) yang memiliki karakteristik reflektansi mirip dengan hutan. Satu plot berupa hutan alam (plot Tegal Alun) yang terletak di tebing dan terkena bayangan (*shadow*). Plot yang lainnya berupa hutan alam (plot Bugang Jawa) juga dan terletak di tepi hutan berbatasan dengan lahan kebun, sehingga bila terjadi kesalahan pengukuran posisi geografis, ada kemungkinan plot yang teridentifikasi termasuk ke dalam lahan kebun.

Tabel 1. Indeks Vegetasi yang Digunakan dalam Penelitian Ini (Gong *et al.*, 2003; Lu *et al.*, 2002)

No.	Indeks	Formula
Indeks sederhana		
1.	<i>Simple ratio</i>	ρ_{nNIR} / ρ_{rR}
2.	<i>TM 5/3</i>	$TM5/TM3$
3.	<i>TM 5/4</i>	$TM5/TM4$
4.	<i>TM 5/7</i>	$TM5/TM7$
5.	<i>Albedo</i>	$TM1 + TM2 + TM3 + TM4 + TM5 + TM7$
6.	<i>VISI23</i>	$TM1 + TM2 + TM3$
7.	<i>Brightness</i>	$0,304TM1 + 0,279TM2 + 0,474TM3 + 0,559TM4 + 0,508TM5 + 0,186TM7$
8.	<i>Greenness</i>	$-0,285TM1 - 0,244TM2 - 0,544TM3 + 0,704TM4 + 0,084TM5 - 0,186TM7$
9.	<i>Wetness</i>	$0,151TM1 + 0,197TM2 + 0,328TM3 + 0,341TM4 - 0,711TM5 - 0,457TM7$
10.	<i>MID57</i>	$TM5 + TM7$
Indeks yang dinormalisasi		
1.	<i>NLI</i>	$(\rho^2_{NIR} - \rho_R) / (\rho^2_{NIR} + \rho_R)$
2.	<i>NDVI</i>	$(\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)$
3.	<i>ND53</i>	$(TM5 - TM3) / (TM5 + TM3)$
4.	<i>ND54</i>	$(TM5 - TM4) / (TM5 + TM4)$
5.	<i>ND57</i>	$(TM5 - TM7) / (TM5 + TM7)$
6.	<i>ND32</i>	$(TM3 - TM2) / (TM3 + TM2)$
Indeks kompleks		
1.	<i>ARVI</i>	$(TM4 - 2TM3 + TM1) / (TM4 + 2TM3 - TM1)$
2.	<i>SAVI</i>	$\frac{(\rho^2_{NIR} - \rho_R)(1 + L)}{(\rho^2_{NIR} + \rho_R + L)}, L = 0,5, \text{ konstanta}$
3.	<i>ASVI</i>	$TM4 + 0,5 - 0,5\sqrt{(2TM4 + 1)^2 - 8(TM4 - 2TM3 + TM1)}$
4.	<i>MSAVI</i>	$TM4 + 0,5 - 0,5\sqrt{(2TM4 + 1)^2 - 8(TM4 - 2TM3)}$

5.	$RDVI$	$(\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho)^{1/2}$
6.	$NDVI * SR$	$\frac{(\rho^2_{NIR} - \rho_R)}{(\rho_{NIR} + \rho^2_R)}$

Keterangan: $TM 1$ = Kanal 1 Landsat TM, $\rho_{NIR,R}$ = digital number kanal near infrared (inframerah dekat), red (merah)

Tabel 2. Nilai Statistik Orde Pertama untuk Pengukuran Tekstur (Jensen, 1996; Materka & Strzelecki, 1998)

No.	Pengukuran tekstur	Persamaan
1.	Rataan	$Mean = \overline{f(i, j)} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) / N$
2.	Variansi	$Var = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i, j) - \overline{f(i, j)}]^2 / N$
3.	Skewness	$Ske = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i, j) - \overline{f(i, j)}]^3 / N}{Var^{3/2}}$
4.	Kurtosis	$Kurt = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i, j) - \overline{f(i, j)}]^4 / N}{Var^2}$

Keterangan : $f(i, j)$ = digital number pada pixel yang berada pada kolom i dan baris j ; N = jumlah pixel

3.1 Satu Variabel Bebas

Kanal Thematic Mapper (TM)

Tabel 3 adalah ringkasan dari pola-pola hubungan antara stok karbon dengan kanal tunggal. Kanal 1 sensitif terhadap adanya padang ilalang karena ketika plot Tegal Panjang diikutsertakan dalam analisis korelasi, koefisien korelasinya menjadi rendah ($R < 0.400$). Akan tetapi jika tidak diikutsertakan, yang terjadi adalah sebaliknya (Tabel 3. kolom C, D dan E). Adapun kanal 2 dan 3 memiliki pola yang mirip, yaitu tidak sensitif terhadap pengaruh adanya padang ilalang.

Pada spektrum sinar tampak (kanal 1, 2 dan 3), reflektansi sangat dipengaruhi oleh adanya pigmen daun, klorofil dan karoten. Secara umum spektrum sinar tampak diserap oleh vegetasi. Semakin rapat vegetasi semakin besar serapannya dan semakin rendah reflektansinya. Akibatnya adalah kanal 2 dan 3 memiliki korelasi yang kuat. Bila mengikuti alasan tadi, seharusnya kanal 1 memiliki korelasi yang kuat juga, tapi yang ada adalah sebaliknya. Alasan kenapa korelasi kanal 1 lemah bila terdapat plot Tegal Panjang belum diketahui dengan jelas.

Baik kanal 1, 2 maupun kanal 3 sama sekali tidak memberikan respon terhadap adanya shadow. Menurut Asner dan Warner (2003), pengaruh shadow pada spektrum sinar tampak relatif rendah karena warna gelap dari vegetasi dan adanya hamburan radiasi cahaya matahari yang rendah. Akibatnya adalah terdapat korelasi yang kuat baik terdapat plot yang memiliki shadow maupun tak ada (Tabel 3, kolom C, D dan E).

Tabel 3. Korelasi Terbaik ($R > 0.40$) Stok Karbon dengan DN Kanal Tunggal

Variabel Bebas	A	B	C	D	E
	R	R	R	R	R
Kanal 1	-	-	-0.560*	-0.605*	-0.608*
Kanal 2	-0.420	-0.463*	-0.505*	-0.619*	-0.627*
Kanal 3	-0.499*	-0.526*	-0.537*	-0.602*	-0.610*
Kanal 4	-	-	-	-0.470	-0.497
Kanal 7	-	-0.407	-	-0.441	-0.472

*) signifikan pada tingkat kepercayaan 0.05

**) signifikan pada tingkat kepercayaan 0.01

A. Data berasal dari 20 plot pengamatan

B. Plot Tegal Alun (Shadow) tidak diikutsertakan

C. Plot Tegal Panjang (padang ilalang) tidak diikutsertakan.

- D. Plot Tegal Alun dan Tegal Panjang tidak diikutsertakan.
E. Plot Tegal Alun, Tegal Panjang dan Bugang Jawa (plot hutan alam yang berada di tepi hutan).

Bertolak belakang dengan pola korelasi pada spektrum sinar tampak (kanal 1, 2 dan 3), kanal-kanal untuk spektrum infra merah (kanal 4, 5 dan 7) tidak berkorelasi kuat dan signifikan dengan stok karbon ketika plot Tegal Panjang dan Tegal Alun diikutsertakan dalam analisis korelasi. Walaupun bila dikeluarkan dari proses analisis pun, korelasinya tidak cukup kuat (Tabel 3). Telah diketahui bahwa spektrum ini sangat sensitif terhadap perbedaan kerapatan hutan, jenis tanah dan jumlah air. Selain itu, spektrum ini sensitif juga terhadap faktor *shadow*.

Apabila terdapat plot yang memiliki kanopi kurang rapat, sehingga tidak cukup menutupi permukaan tanah, seperti plot Tegal Alun, reflektansi infra merah berasal dari gabungan antara reflektansi dari tanah dan kanopi. Pengaruh warna, kelembaban dan mineral tanah cukup signifikan berkontribusi terhadap reflektansi spektrum ini. Akibatnya adalah adanya plot yang seperti ini dapat menyebabkan korelasi lemah pada korelasi stok karbon dengan karakteristik spektral, bila kebanyakan plot merupakan hutan berkanopi rapat (Lu *et al.*, 2002),

Jika latar belakang tanah dapat menyebabkan reflektansi infra merah bertambah, pengaruh *shadow* dapat menyebabkan reflektansi berkurang (Asner dan Warner, 2003; Bender Jr., 1999). Akibatnya adalah seperti pada pengaruh kerapatan terhadap spektrum infra merah, plot yang memiliki *shadow* menyebabkan koefisien korelasi menjadi rendah. Adanya faktor *shadow* ini menggugurkan hipotesis Bender Jr. (1999) bahwa semakin rapat kanopi, reflektansi infra merah dekat semakin besar.

Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi umumnya dibangun berdasarkan spektrum merah dan infra merah dekat. Karena respon infra merah dekat menyebabkan korelasi yang lemah dengan stok karbon maka korelasi indeks vegetasi yang dibangun berdasarkan infra

merah dekat pun korelasinya lemah (Tabel 4 kolom A, B dan C, Lu *et al.*, 2002).

NDVI, indeks vegetasi yang paling umum digunakan, korelasinya sangat lemah ($R < 0.4$). Pada sejumlah penelitian, NDVI berkorelasi kuat dengan penutupan kanopi (Stylinski dan Cathlyn, 2000 dalam Huang *et al.*, 2001), berkorelasi kuat dengan LAI dan biomassa pada monokultur (Aparicio *et al.*, 2002), sensitif terhadap kandungan klorofil (Zavaleta, 2003), sensitif terhadap perubahan fraksi *shadow* di hutan tropis tapi tidak sensitif di savana (Asner dan Warner, 2003), berkorelasi lemah dengan kandungan air vegetasi (Jackson, 2004). Korelasi faktor biofisik dengan NDVI yang berkorelasi kuat pada beberapa penelitian terjadi karena faktor biofisik yang diukur semuanya terkait dengan tingkat kehijauan kanopi. Variabel biomassa pada penelitian Aparicio *et al.* (2002) berkorelasi linier dengan tingkat kehijauan daun (karena merupakan monokultur). Namun apabila di hutan, korelasi ini tidak akan ditemukan, sehingga pada studi Lu *et al.* (2002) dan penelitian ini tidak ditemukan juga korelasi yang kuat antara biomassa dengan NDVI.

Seperti pada kasus NDVI, indeks-indeks yang dibangun berdasarkan spektrum infra merah memiliki korelasi lemah, padahal indeks tersebut dibangun untuk mengatasi kasus-kasus khusus yang tidak bias diatasi oleh NDVI. Sebagai contoh adalah SAVI dan MSAVI dikembangkan untuk mengurangi pengaruh tanah (Gong, *et al.*, 2003), berkorelasi lemah ($R < 0.4$), persis dengan yang ditemukan pula oleh Lu *et al.* (2002). Demikian pula NLI, dikembangkan untuk melinierkan hubungan indeks vegetasi dengan faktor biofisik (Gong *et al.*, 2003), memiliki korelasi yang lemah.

Tabel 4. Koefisien Korelasi antara Stok Karbon dengan Indeks Vegetasi

Variabel bebas	A	B	C	D	E
	R	R	R	R	R
TM5/7	-	-	-	0.411	0.414
ALBEDO	-	-	-	-0.513*	-0.539*
VIS123	-0.450*	-0.480*	-0.555*	-0.646*	-0.651**
BRIGHTNESS	-	-	-	-0.497*	-0.523*
ND57	-	-	-	0.413	0.416

ND32	-0.554*	-0.552*	-0.462	-0.462	-0.466
ASVI	0.453	0.567	-	0.476	0.475
ARVI	-	0.570	-	0.473	0.477

Berbeda dengan indeks-indeks yang tadi disebutkan, indeks vegetasi yang dibangun hanya berdasarkan spektrum sinar tampak seperti VIS123 dan ND32 memiliki korelasi yang kuat ($R > 0.4$) dan signifikan walaupun beberapa ada yang tidak signifikan (Tabel 4. kolom D, E). Koefisien korelasi VIS123 konsisten signifikan dan cenderung meningkat, namun tidak demikian pada ND32. Pada VIS123, korelasinya kuat karena merupakan hasil penjumlahan dari kanal 1,2 dan 3 yang memiliki korelasi kuat dengan stok karbon. Adapun ND32 korelasinya agak lemah, bila dibandingkan dengan korelasi kanal tunggal yang menyusunnya, karena merupakan hasil formulasi berbasis penjumlahan dan pembagian (ND32). Jadi, formulasi indeks vegetasi yang bersifat linier dengan kanal tunggal akan memiliki korelasi linier, namun bila tidak demikian, korelasi linier indeks vegetasi tersebut dengan stok karbon akan melemah.

Hubungan yang linier merupakan hubungan yang sederhana sehingga makna dari hubungan itu mudah difahami. Sejauh ini hubungan linier kanal tunggal dengan faktor biofisik hampir bisa dikatakan tidak ada, karena reflektansi suatu spektrum dipengaruhi oleh sejumlah faktor biofisik. Begitu juga sebaliknya, suatu objek dengan karakteristik biofisik tertentu memiliki pola respon yang berbeda terhadap spektrum yang berbeda.

Indeks vegetasi merupakan salah satu pendekatan metode untuk mencari hubungan linier antara faktor biofisik dengan data remote sensing. Kajian ini sudah banyak dilakukan (Ustin *et al.*, 1999; Aparicio *et al.*, 2002; Gong *et al.*, 2003; Asner dan Warner, 2003; Jackson, 2004), ada yang menemukan dan ada yang tidak. Pada penelitian ini, sedikit sekali indeks vegetasi yang berkorelasi linier (Tabel 5). Itupun koefisien korelasinya masih kecil belum mencapai $0.7 < R < 0.9$.

Pengukuran Tekstur (*Texture Measure*)

Pengukuran tekstur atau *texture measure* memberikan harapan untuk memperoleh korelasi yang kuat sebagaimana yang dihipotesiskan oleh Lu *et al.* (2002). Pada penelitian ini, *texture measure* yang koefisien korelasinya besar dan signifikan umumnya merupakan rata-rata nilai DN dengan R terbesar 0.686 (Tabel 5). Berbeda dengan hasil penelitian Lu *et al.* (2002), koefisien korelasi biomassa dengan pengukuran tekstur umumnya adalah variansi dan yang paling besar (variansi TM2 dengan *pixel windows* 9 x 9) mencapai 0,841.

Perhatikan tabel 5, perubahan nilai koefisien korelasi baik secara mendatar, antar kolom dan secara menurun, antar baris tidak membentuk satu pola, perubahannya bersifat acak. Hal ini menggugurkan hipotesis bahwa *texture measure* dapat meningkatkan probabilitas ditemukannya piksel yang tepat dengan plot di lapangan. Perluasan *pixel window* tidak mampu meningkatkan probabilitas tersebut. Adanya fraksi *shadow* pada piksel di hutan tropis (Asner dan Warner, 2003) mungkin bisa menjadi alasan adanya fenomena ini. Fraksi *shadow* di hutan tropis semakin besar ketika kerapatan hutan semakin tinggi. Adapun pengaruh *shadow* sudah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya.

Tabel 5. Koefisien Korelasi Stok Karbon dengan Nilai Pengukuran Tekstur (*Texture Measure*)

Variabel bebas	A	B	C	D	E
	R	R	R	R	R
RAT_3_B1	-0.420	-0.422	-0.566*	-0.598*	-0.610*
RAT_3_B2	-0.436	-0.504*	-0.438	-0.556*	-0.585*
RAT_3_B3	-0.492*	-0.525*	-0.480	-0.542*	-0.559*
RAT_3_B4	-	-	-	-	-0.416
RAT_3_B7	-	-0.422	-	-	-0.411
RAT_5_B1	-	-	-0.561*	-0.656**	-0.686**
RAT_5_B2	-0.442	-0.510*	-0.434	-0.544*	-0.582*
RAT_5_B3	-0.508*	-0.545*	-0.483*	-0.547*	-0.582*
RAT_5_B7	-	-	-	-	-0.415
RAT_7_B1	-	-	-0.556*	-0.637**	-0.674**
RAT_7_B2	-0.431	-0.489*	-0.436	-0.535*	-0.578*
RAT_7_B3	-0.500*	-0.531*	-0.491*	-0.547*	-0.591*
RAT_7_B7	-	-0.450	-	-	-0.403
KUR_3_B4	-	-	-	-0.402	-0.416

KUR_3_B7	-0.477*	-0.474*	-0.428	-0.428	-0.466
KUR_5_B4	-0.414	-0.410	-	-	-0.410
SKE_5_B4	-	-	0.440	0.462	0.464
VAR_5_B2	-	-	-	-	-0.408

Keterangan :

RAT_3_B1 = Rataan kanal 1 (3x3 *pixel window*),
SKE_5_B4
= *Skewness* kanal 4 (5x5 *pixel window*),
VAR_5_B2 = *Variance* kanal 2 (5x5
pixel window), KUR_3_B7 = *Kurtosis*
kanal 3 (7x7 *pixel window*).

Walaupun tidak ditemukan pola korelasi pada *texture measure* ini, hasil pengamatan ini membuktikan dugaan bahwa peletakkan plot Bugang Jawa terlalu dekat dengan batas hutan. Karena ketika plot ini dikeluarkan dari proses analisa, efek reflektansi infra merah, yang berasal dari piksel tetangga, oleh tanah menjadi hilang (Tabel 5., kolom D dan E). Piksel tetangga bisa memiliki efek negatif dari infra merah karena ada kemungkinan piksel tersebut di lapangan adalah area non-hutan (kebun, tanah terbuka).

Dua Variabel Bebas

Beberapa analisa uji korelasi di atas mengindikasikan bahwa korelasi *bivariat* stok karbon dengan kanal tunggal, indeks vegetasi atau *texture measure* tidak cukup menghasilkan hubungan yang kuat. Hal ini mungkin karena kompleksitas struktur hutan, bayangan, latar belakang tanah mengakibatkan efek negatif terhadap hubungan stok karbon dengan karakteristik spektrum sebagaimana yang diindikasikan oleh Lu *et al.* (2002).

Dengan menggunakan analisis regresi berganda metoda *stepwise*, hubungan antara stok karbon dengan karakteristik spektral menjadi lebih besar. Koefisien regresi bisa mencapai 0.992 (Lampiran). Karakteristik spektral citra yang terpilih sebagai kombinasi variabel tak bebas sangat bervariasi dan masing-masing kelompok karakteristik spektral (kanal tunggal, indeks vegetasi dan *texture measure*) berkontribusi. Namun tidak seperti yang ditemukan oleh Lu *et al.* (2002) bahwa terdapat sifat komplementer antara variabel tak bebas pada kombinasi variabel tersebut. Pada penelitian ini

kebanyakan kombinasi terdiri dari karakteristik spektral yang memiliki korelasi kuat ketika diuji dengan korelasi *bivariat*.

Korelasi-korelasi yang diperoleh dengan metoda regresi berganda ini masih belum bisa dijelaskan maknanya secara fisis. Secara statistik, korelasi-korelasi tersebut bermakna dan bisa digunakan untuk membangun model estimasi $Y = aX^b + c$, dengan Y adalah stok karbon, X adalah karakteristik spektral dan a, b, c adalah konstanta. Namun model estimasi ini hanya dapat digunakan pada populasi data yang sama. Pada studi kasus ini adalah daerah Gunung Papandayan.

4. KESIMPULAN

Studi ini telah menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara stok karbon dengan kanal tunggal, indeks vegetasi dan *texture measure*. Namun hubungannya masih relatif lemah ($R < 0.70$), sehingga masih diragukan keakuratannya bila dibuat model estimasi. Akan tetapi, dengan regresi berganda metoda *stepwise*, bisa diperoleh hubungan stok karbon dengan dua karakteristik spektral atau lebih yang korelasinya kuat ($R > 0.70$).

Hubungan-hubungan itu bersifat empiris, masih sulit dijelaskan maknanya baik ditinjau secara fisika maupun biologi. Walaupun demikian hubungan-hubungan tersebut bisa digunakan untuk membuat model persamaan regresi untuk estimasi stok karbon pada tingkat bentang alam pada populasi data yang sama, area yang sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada Kepala BKSDA II JABAR dan Perum Perhutani Unit III JABAR beserta seluruh staff yang terlibat. Kegiatan penelitian ini didukung oleh dana dari Osaka Gas Foundation-Japan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2003. Climate Change and Human Health-Risks and Responses. *SUMMARY*. WHO, WMO, UNEP. Geneva.

Aparicio, N., D. Villegas, J.L. Araus, J. Casadesus. C. Royo, 2002. Relationship between Growth Traits and Spectral Vegetation Indices in Durum Wheat. *Crop Science*. No 42: 1547-1555.

Apps, M., M. Artaxo, D. Barret, J. Canadell, A. Cescatti, G. Churkina, P. Ciais, E. Cienciala, P. Cox, C. Field, M. Heimann, 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. Murdiyarso, 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 Them*. IPCC. Geneva.

Asner, G.P. and A.S. Warner, 2003. Canopy shadow in IKONOS satellite observations of tropical forests and savannas. *Remote Sensing of Environment*. No 87: 521-533.

Bender Jr, J.R., 1999. Identifying Structural Differences in Mixed Mesophytic and Northern Hardwood Forests on the Monongahela National Forest Using Remote Sensing Data. Thesis. Masters of Arts in Geography. The Eberly College of Arts and Sciences at West Virginia University. Morgantown, West Virginia.

Fischer, G., M. Shah, H. van Velthuisen, 2002. *Climate Change and Agricultural Vulnerability*. IASA Publication Departement under United Nations Institutional Contract Agreement No 1113. World Summit on Sustainable Development, Johannesburg.

Gong, P., R. Pu, G.S. Biging and M.R. Larrieu, 2003. Estimation of Forest Leaf Area Index using Vegetation Indices Derived from Hyperion Hyperspectral Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol 41 No 6.

Hairiah, K., S.M. Sitompul, M. van Noordwijk, C. Palm, 2001. Methods for sampling carbon stocks above and belowground. Dalam M. van Noordwijk, S. Williams and B. Verbist, editors. *Towards integrated natural resources management in forest margins of the humid tropics: local action and global concerns*. ICRAF. ABS Lecture Note

4A. Bogor.

Huang, C., L. Yang, B. Wylie, C. Homer, 2001. A Strategy for Estimating tree Canopy density Using Landsat 7 ETM+ AND High Resolution Images Over Large Areas. Dalam the Third International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry. Colorado.

HufnagI, S, 2002. Field Practice Report. IPB. Bogor.

Jensen, J.R, 1996. *Introductory Digital Images Processing. A Remote Sensing Perspective*. 2nd ed. London: Prentice Hall, Inc.

Lu, D., P. MauseI, E. Brondizio and E. Moran, 2002. Aboveground Biomass Estimation of Successional and Mature Forests Using TM Images in the Amazon Basin. Dalam Richardson, D. and P. van Oesteron, editors. *Advances in Spatial Data Handling*. New York: Springer-Verlag

MacDicken, K.G, 1997. *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development. Washington, DC.

Materka, A. and M. Strzelcki, 1998. *Texture Analysis Methods- A Review*. Technical University of Lodz, Institute of Electronics, COST B11 report, Brussels.

Mendelsohn, R. and A. Dinar, 1999. *Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adapation Matter?*. The World Bank Research. Vol 14 No 2: 277-93.

Murdiyarso, D, 2003. *CDM: Mekanisme Pembangunan Bersih*. Jakarta: Kompas.

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, Wallingford.

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.

Sulaiman, W, 2002. *Jalan Pintas Menguasai SPSS 10*. Yogyakarta: Andi.

Ustin, S.L., M.O. Smith, S. Jacquemoud, M. Verstraete and Y. Govaerts, 1999. *Geobotany: Vegetation Mapping for Earth Sciences*. Dalam Andrews N.R., editors. *Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing*. Ed 3rd. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Van Noordwijk, M., S. Rahayu, K. Hairiah, Y.C. Wulan, A. Farida and B. Verbist, 2002. Carbon stock 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 CO₂, Soil-N Availability, and Allocation of Biomassa and Nitrogen by *Populus tremuloides*. *Ecological Application*. Vol 10 No 1: 34-46.

Zavaleta, E.S., B.D. Thomas., N.R. Chiariello, G.P. Asner, M.R. Shaw. 2003. Plants reverse warming effect on ecosystem water balance. *PNAS*. Vol 100 No 17:1892-1893.

LAMPIRAN

Nilai Koefisien Regresi Terbaik ($R > 0,5$) dengan *Sstepwise Multiple Regression*

A. Menggunakan Seluruh Data dari 20 Plot Pengamatan

Variabel bebas yang digunakan untuk model	R
ND32 + KUR_3_B7	0.802
ND32 + KUR_3_B7 + KUR_5_B7	0.861

Variabel bebas yang digunakan untuk model	R
ASVI + KUR_3_B7	0.785
ASVI + KUR_3_B7 + SKE_5_B7	0.870
ASVI + KUR_3_B7 + SKE_5_B7 + VAR_3_B4	0.912
ASVI + KUR_3_B7 + SKE_5_B7 + VAR_3_B4 + Band 1	0.957
ASVI + KUR_3_B7 + SKE_5_B7 + VAR_3_B4 + Band 1 + ND57	0.977
ASVI + KUR_3_B7 + SKE_5_B7 + VAR_3_B4 + Band 1 + ND57 + Band 3	0.985
ASVI + KUR_3_B7 + SKE_5_B7 + VAR_3_B4 + Band 1 + ND57 + Band 3 + NLI	0.992
ASVI + KUR_3_B7 + SKE_5_B7 + Band 1 + ND57 + Band 3 + NLI	0.992

B. Tanpa Mengikutsertakan Plot "Tegal Panjang"

Tidak ada data

C. Tanpa Mengikutsertakan Plot "Selatan Tegal Alun" dan "Tegal Panjang"

Semua variabel bebas di "running"

Variabel bebas yang digunakan untuk model	R
RAT_5_B1 + KUR_3_B7	0.821

D. Tanpa Mengikutsertakan Plot "Selatan Tegal Alun", "Tegal Panjang" dan "Bugang Jawa".

Variabel bebas yang digunakan untuk model	R
RAT_5_B1 + KUR_3_B7	0.822