

INDEKS VEGETASI DARI CITRA SATELIT ALOS UNTUK MEMPERKIRAKAN CADANGAN KARBON ATAS PERMUKAAN DI HUTAN MANGROVE* [Vegetation Index from ALOS to Predict Above Ground Carbon Stock in Mangrove Forest]

Suyadi^{1,4}✉, Y.I. Ulumudin², R. Vebriansyah³

¹UPT Balai Konservasi Biota Laut Ambon-LIPI, Jl. Y. Syaranamual, Guru-Guru Poka, Ambon 97233

²Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI

³Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Negeri Jakarta

⁴Faculty of Science-the University of Auckland

UPT. Balai Konservasi Biota Laut-LIPI. Jl. Y. Syaranamual, Guru-Guru Poka, Ambon 97233

Email: yadi_pdt@yahoo.com

ABSTRACT

Mangrove forests sequester and store a lot of carbon and are important to tackle climate change. However, much of these forests have been cleared dramatically and such clearings destroyed carbon sinks and released carbon into the atmosphere as carbon dioxide. The international climate agreements highlight Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+) as a key and effective option for mitigating climate change. To help making REDD+ a reality, an alternative approach is needed to measure above ground carbon stock quickly and accurately. Here, we link ground-based data collected from field measurement using belt transect method with satellite image data of the ALOS AVNIR-2. The objectives are to identify the characteristics of mangrove vegetation, to estimate the amount of above ground carbon stock, and to examine capability of vegetation indices of NDVI, SR, dan SAVI from the ALOS AVNIR-2 to estimate the amount of above ground carbon stock in mangrove. Results showed that the mangrove vegetation in Gugus Pulau Pari was relatively diverse and this forest contained above ground carbon between 4694.35 and 42841.25 kg/m². The statistics analyses showed that there was no significant correlation between the vegetation indices of NDVI, SR, and SAVI with the amount of above ground carbon stock in tropical mangrove forest. In short, the vegetation indices of NDVI, SR, and SAVI from the ALOS AVNIR-2 were not sufficient to estimate the amount of above ground carbon stock in tropical mangrove forest.

Key words: mangrove, vegetation indices, carbon stocks, ALOS

ABSTRAK

Hutan mangrove diketahui dapat menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah yang besar dan keberadaannya juga penting untuk menanggulangi perubahan iklim. Namun, dewasa ini banyak kawasan hutan mangrove yang digunduli dan menyebabkan karbon yang tersimpan di dalamnya lepas ke atmosfer. Kesepakatan internasional tentang perubahan iklim memandang penting untuk menurunkan emisi gas rumah kaca akibat deforestasi dan degradasi hutan atau dikenal dengan REDD+. Untuk membantu REDD+ menjadi kenyataan, diperlukan metode alternatif untuk mengukur kandungan karbon di atas permukaan tanah secara cepat dan akurat. Penelitian ini menghubungkan data dari lapangan yang dikumpulkan menggunakan metode transek dengan data citra satelit ALOS AVNIR-2. Tujuan penelitian yaitu mengidentifikasi karakteristik vegetasi mangrove, memperkirakan jumlah kandungan karbon di atas permukaan tanah, dan menguji kemampuan indeks vegetasi dari NDVI, SR, dan SAVI dari ALOS AVNIR-2 untuk pendugaan jumlah karbon di atas permukaan tanah di kawasan hutan mangrove. Hasil penelitian menunjukkan bahwa vegetasi hutan mangrove di Gugus Pulau Pari relatif beragam, dan hutan di kawasan tersebut menyimpan karbon di atas permukaan tanah antara 4694,35 dan 42841,25 kg/m². Uji statistik menunjukkan bahwa tidak ada korelasi yang nyata antara indeks vegetasi dari NDVI, SR, maupun SAVI dengan jumlah karbon yang tersimpan di atas permukaan tanah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa indeks vegetasi dari NDVI, SR, maupun SAVI dari ALOS AVNIR-2 tidak bagus jika digunakan untuk pendugaan cadangan karbon di atas permukaan tanah pada hutan mangrove tropis.

Kata kunci: mangrove, indeks vegetasi, stok karbon, ALOS

PENDAHULUAN

Hutan mangrove merupakan salah satu hutan penyimpan karbon terkaya di daerah tropis dan juga sebagai area kunci dalam upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim (Donato *et al.*, 2011). Luas hutan mangrove tropis terus menurun; sekitar 52% hutan mangrove di Indonesia telah rusak (Mastaller, 1996), dan diperkirakan bahwa kurang dari 100 tahun seluruh hutan mangrove akan rusak atau hilang (Donato *et al.*, 2011). Ketika hutan digunduli atau

terdegradasi, karbon yang tersimpan akan terlepas ke atmosfer dalam bentuk karbon dioksida. Houghton (2005) melaporkan bahwa sejak tahun 1990-an, deforestasi di daerah tropis telah melepas 1-2 miliar ton karbon per tahun, jumlah tersebut merupakan 15-25% dari seluruh emisi tahunan gas rumah kaca dunia. Giri (2011) mencatat bahwa sekitar 10% emisi gas rumah kaca akibat deforestasi berasal dari deforestasi hutan mangrove. Penggundulan hutan juga merusak penyimpanan karbon yang memiliki peranan penting

*Diterima: 9 Januari 2013 - Disetujui: 13 Maret 2013

dalam penyerapan karbon dioksida dari atmosfer (Stephens, 2007).

The United Nations Framework Convention on Climate Change memandang bahwa pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan atau *Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD+) merupakan salah satu kunci dalam mitigasi perubahan iklim. Sehubungan dengan hal tersebut, pemerintah Indonesia menargetkan penurunan emisi gas rumah kaca dari deforestasi dan degradasi hutan hingga 26% sebelum tahun 2020. Untuk membantu mewujudkan REDD+ dan target pemerintah tersebut diperlukan pendekatan untuk mengukur atau memperkirakan jumlah cadangan karbon secara cepat dan akurat. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengukur cadangan karbon mulai dari cara konvensional seperti penebangan pohon hingga teknologi penginderaan jauh, misalnya penggunaan sensor optik.

Penggunaan metode konvensional seperti *biomass averages* dan *forest inventory* untuk mengukur cadangan karbon dinilai tidak selalu cocok untuk diterapkan secara global dan memakan waktu dan biaya yang besar (Gibbs *et al.*, 2007). Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang akurat, murah, cepat, dan konsisten agar dapat diterapkan dalam skala global, yaitu dengan pemanfaatan penginderaan jauh. Salah satu pendekatan inderaja untuk memperkirakan cadangan karbon adalah dengan menggunakan indeks vegetasi. Meskipun demikian pendekatan tersebut masih memerlukan pengujian dan pengembangan lebih lanjut karena masih terdapat kekurangan (Warring *et al.*, 1995; Gibbs *et al.*, 2007).

Pendugaan cadangan karbon dengan menggunakan indeks vegetasi dari citra satelit Landsat, SPOT, dan MODIS sudah banyak diuji dan dilakukan (Foody *et al.*, 2003, Lu, 2005, Tucker *et al.*, 2005). Sebaliknya penggunaan indeks vegetasi dari citra satelit ALOS AVNIR-2 untuk memperkirakan cadangan karbon khususnya untuk hutan mangrove tropis masih jarang dilakukan. Saat ini pendugaan cadangan karbon atas permukaan terkait dengan

mekanisme REDD+ lebih banyak dilakukan pada hutan terrestrial, sedangkan informasi pendugaan cadangan karbon pada hutan mangrove masih kurang. Akibatnya, keberadaan hutan mangrove kurang dipertimbangkan, khususnya dalam mekanisme REDD+. Padahal, hutan mangrove memiliki kemampuan mengikat karbon lebih tinggi daripada hutan terrestrial (Okimoto *et al.*, 2007).

Hipotesis penelitian adalah indeks vegetasi dari citra satelit ALOS AVNIR-2 memiliki korelasi kuat dengan cadangan karbon di atas permukaan tanah sehingga dapat digunakan untuk pendugaan cadangan karbon di atas permukaan tanah pada hutan mangrove tropis. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik penyusun vegetasi hutan mangrove, jumlah cadangan karbon, dan potensi indeks vegetasi dari citra satelit ALOS AVNIR-2 untuk memperkirakan cadangan karbon di atas permukaan tanah di hutan mangrove tropis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi penggunaan indeks vegetasi dari citra satelit ALOS untuk pendugaan cadangan karbon dan memberikan informasi jumlah cadangan karbon yang akurat dalam pengimplementasian REDD+.

BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian ini menggunakan dua metode utama, yaitu metode *belt transect* dan *remote sensing* (citra satelit ALOS AVNIR-2). Metode *belt transect* digunakan untuk mengumpulkan data vegetasi mangrove dan cadangan karbon di atas permukaan tanah. Transek dilakukan sejajar garis pantai sepanjang 150 m di setiap pulau. Di sepanjang garis transek dibuat plot-plot kuadrat berukuran 10 m x 10 m di mana koordinatnya ditentukan dengan *Global Positioning System*. Semua pohon mangrove dan tumbuhan lain yang ada di dalam plot-plot tersebut diidentifikasi jenisnya dan diukur diameternya setinggi dada (DBH). Plot kuadrat untuk tingkat sapling berukuran 5 m x 5 m dan untuk tingkat semai berukuran 1 m x 1 m. Semua sapling dan semai diidentifikasi jenisnya dan diukur diameternya. Jumlah keseluruhan plot

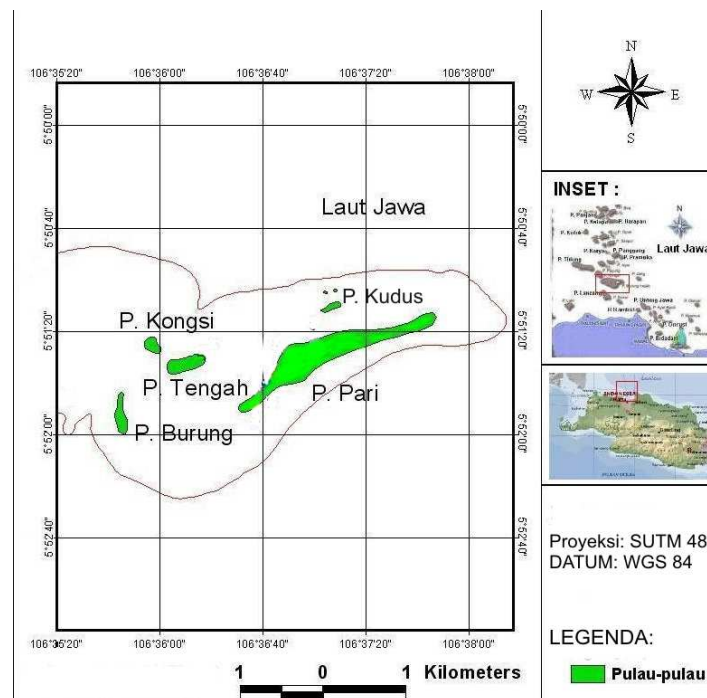
sampling adalah 75 plot.

Selanjutnya data vegetasi dianalisis untuk mengetahui kerapatan jenis, kerapatan relatif, dominansi jenis, dominansi relatif, frekuensi jenis, frekuensi relatif, dan Indeks Nilai Penting (INP) dengan menggunakan rumus yang direkomendasikan oleh Cox (1967). Indeks keanekaragaman dihitung menggunakan rumus indeks diversitas Shannon-Wiener. Persamaan alometrik Komiyama *et al.* (2005) digunakan untuk menghitung biomassa di atas permukaan tanah, di mana pada penelitian ini nilai p yaitu 0,9829 (Syahrinaldi, 2010). Data biomassa atas permukaan dikonversi menjadi data cadangan karbon dengan menggunakan rumus Brown dan Gaston (1995).

Nilai indeks vegetasi yang terdiri atas *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Simple Ratio* (SR), dan *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) diperoleh dengan menginterpretasi citra satelit ALOS AVNIR-2 yang diambil pada tahun 2008 mencakup hutan mangrove Gugus Pulau Pari. Untuk mengetahui potensi indeks vegetasi dalam

pendugaan cadangan karbon atas permukaan maka dilakukan uji korelasi terlebih dahulu yang kemudian jika terdapat hubungan yang kuat dilakukan uji regresi. Uji korelasi *Pearson Product Moment* (PPM) yang didahului dengan uji prasyarat berupa uji normalitas dan homogenitas dilakukan untuk mengetahui derajat hubungan variabel-variabel yang diteliti (Arikunto, 2006). Besarnya kontribusi indeks vegetasi hutan mangrove dalam pendugaan cadangan karbon atas permukaan diketahui melalui koefisien determinasi atau koefisien penentu (Sudjana, 2001).

Lokasi penelitian adalah hutan mangrove Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu (Gambar 1) meliputi Pulau Pari, Pulau Burung, Pulau Tengah, Pulau Kongsi, dan Pulau Kudus Lempeng. Gugus Pulau Pari terletak pada $05^{\circ}50' 20''$ LS dan $106^{\circ}38' 02''$ BT, secara administratif masuk ke dalam Kabupaten Kepulauan Seribu, Provinsi DKI Jakarta. Lokasi tersebut dipilih karena wilayah ini merupakan kepulauan yang memiliki vegetasi mangrove dan substrat yang cukup beragam (Wahid, 2007). Pengumpulan data vegetasi di lapangan dilaksanakan pada bulan Oktober 2010.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu

HASIL

Karakteristik Struktur Penyusun Vegetasi Mangrove Gugus Pulau Pari

Penelitian ini berhasil mencatat delapan jenis dari lima marga mangrove sebagai tumbuhan penyusun vegetasi mangrove di Gugus Pulau Pari. Suku Rhizophoraceae, Sonneratiaceae, dan Avicenniaceae masing-masing diwakili oleh dua jenis, sedangkan suku Arecaceae dan Lythraceae hanya satu jenis (Tabel 1). Di Pulau Pari tercatat lima jenis tumbuhan mangrove, Pulau Kudus empat jenis, Pulau Kongsi dua jenis, Pulau Burung dan Pulau Tengah masing-masing hanya satu jenis. Jumlah individu yang paling banyak adalah dari jenis *Rhizophora stylosa* (97,04%) yang dapat di jumpai di seluruh pulau.

Hasil analisis vegetasi menunjukkan bahwa *Rhizophora stylosa* merupakan jenis mangrove yang

paling umum dijumpai di seluruh pulau yang disurvei. Jenis ini merupakan satu-satunya jenis mangrove yang ada di Pulau Burung dan Pulau Tengah dan juga merupakan jenis yang memiliki kerapatan, dominansi, dan frekuensi tertinggi di tiga pulau, yakni Pulau Pari, Kongsi, dan Kudus (Tabel 2). Jenis mangrove yang paling jarang dijumpai adalah *Sonneratia ovata* dengan frekuensi jenis sebesar 0,07% dan hanya dapat dijumpai di Pulau Kongsi.

Pulau Pari memiliki keanekaragaman jenis mangrove tertinggi yaitu 0,51, diikuti oleh Pulau Kudus (0,1) dan Pulau Kongsi (0,04), sedangkan yang terendah adalah Pulau Burung dan Pulau Tengah (0). *Rhizophora stylosa* merupakan jenis mangrove yang memiliki indeks nilai penting (INP) tertinggi di seluruh pulau (217,9 – 300), sedangkan *Sonneratia ovata* adalah yang paling rendah yaitu 2,2 (Tabel 3).

Tabel 1. Jenis-jenis mangrove di Gugus Pulau Pari

Familia	Spesies	Komposisi (%)	Pulau Pari	Pulau Burung	Pulau Kongsi	Pulau Tengah	Pulau Kudus
Arecaceae	<i>Nypa fruticans</i>	0,52	+	-	-	-	-
Avicenniaceae	<i>Avicennia alba</i>	0,13	-	-	-	-	+
	<i>Avicennia marina</i>	0,13	+	-	-	-	-
Lythraceae	<i>Pemphis acidula</i>	0,26	-	-	-	-	+
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora apiculata</i>	0,52	+	-	-	-	+
	<i>Rhizophora stylosa</i>	97,04	+	+	+	+	+
Sonneratiaceae	<i>Sonneratia ovata</i>	0,13	-	-	+	-	-
	<i>Sonneratia alba</i>	1,29	+	-	-	-	-

Keterangan: dijumpai (+) dan tidak dijumpai (-)

Tabel 2. Kerapatan, Dominansi, dan Frekuensi jenis-jenis mangrove di Gugus Pulau Pari

Pulau	Jenis	KJ	KR (%)	DJ	DR (%)	FJ	FJ (%)
Pari	Sa	0,007	6,85	0,001	24,95	0,200	13,04
	Rs	0,085	87,67	0,002	65,04	1,000	65,22
	Ra	0,002	2,05	0,000	0,04	0,200	13,04
	Nf	0,003	2,74	0,000	9,85	0,067	4,35
	Am	0,001	0,68	0,000	0,11	0,067	4,35
Burung	Rs	0,074	100	0,001	100	1,000	100
Kongsi	Rs	0,105	99,37	0,002	98,50	0,933	99,93
	So	0,001	0,63	0,000	1,50	0,001	0,07
Tengah	Rs	0,081	100	0,001	100	1,000	100
Kudus	Rs	0,156	98,32	0,003	96,91	1,000	78,95
	Ra	0,001	0,42	0,000	1,33	0,067	5,26
	Pa	0,001	0,84	0,000	1,72	0,133	10,53
	Aa	0,001	0,42	0,000	0,03	0,067	5,26

Keterangan:

Nf	: <i>Nypa fruticans</i>	KJ	: Kerapatan Jenis	Ra	: <i>Rhizophora apiculata</i>	DR	: Dominansi Relatif
Aa	: <i>Avicennia alba</i>	DJ	: Dominansi Jenis	Rs	: <i>Rhizophora stylosa</i>	FR	: Frekuensi Relatif
Am	: <i>Avicennia marina</i>	FJ	: Frekuensi Jenis	So	: <i>Sonneratia ovata</i>		
Pa	: <i>Pemphis acidula</i>	KR	: Kerapatan Relatif	Sa	: <i>Sonneratia alba</i>		

Tabel 3. Indeks keanekaragaman dan nilai penting di lima pulau Gugus Pulau Pari

Pulau	Keanekaragaman	Jenis	INP
Pari	0,51	<i>Sonneratia alba</i>	44,8
		<i>Rhizophora stylosa</i>	217,9
		<i>Rhizophora apiculata</i>	15,1
		<i>Nypa fruticans</i>	16,9
		<i>Avicennia marina</i>	5,1
Burung Kongsi	0 0,04	<i>Rhizophora stylosa</i>	300
		<i>Rhizophora stylosa</i>	297,8
Tengah Kudus	0 0,1	<i>Sonneratia ovata</i>	2,2
		<i>Rhizophora stylosa</i>	300
		<i>Rhizophora stylosa</i>	274,2
		<i>Rhizophora apiculata</i>	7,0
		<i>Pemphis acidula</i>	13,1
		<i>Avicennia alba</i>	5,7

Indeks Vegetasi dan Cadangan Karbon di Gugus Pulau Pari

Dari interpretasi citra satelit ALOS diperoleh nilai indeks vegetasi berupa NDVI, SR, dan SAVI di mana masing-masing diambil dari 75 plot di lima pulau yang diteliti. Nilai NDVI berkisar dari yang terendah yaitu -0,08 di Pulau Kudus Lempeng hingga yang tertinggi yaitu 0,26 di Pulau Tengah. Hutan mangrove di Pulau Kudus Lempeng juga memiliki nilai SR dan SAVI paling rendah yaitu 0,84 dan 0,02. Pulau yang memiliki nilai SR dan SAVI terbesar adalah Pulau Tengah yakni 1,70 dan 0,89.

Hasil penghitungan karbon menunjukkan bahwa hutan mangrove Pulau Pari memiliki cadangan karbon atas permukaan tertinggi yaitu 42,841 kg/m² dengan kerapatan pohon sebesar 9,733 individu/ha dan diameter rata-rata 18,77 cm. Kemudian diikuti oleh Pulau Kudus (23,402 kg/m²), Pulau Kongsi (23,283 kg/m²) dan yang paling rendah adalah Pulau Tengah (4,694 kg/m²) dengan kerapatan pohon 8,133 individu/ha dan diameter rata-rata 7,99 cm. Meskipun Pulau Kudus dan Pulau Kongsi tidak memiliki cadangan karbon tertinggi, pulau-pulau tersebut memiliki kerapatan pohon yang tinggi yaitu 15866 individu/ha dan 10600 individu/ha. Uji korelasi menunjukkan tidak terdapat korelasi yang signifikan antara cadangan karbon dengan kerapatan pohon ($r = 0,31$), namun terdapat hubungan yang nyata antara cadangan karbon dengan diameter rata-rata pohon ($r = 0,90$). Secara lengkap cadangan karbon di Gugus Pulau Pari disajikan pada tabel 4.

Hubungan antara Indeks Vegetasi dengan Cadangan Karbon Atas Permukaan

Sebelum dilakukan uji korelasi, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas dan linearitas yang hasilnya menunjukkan bahwa data terdistribusi normal dan berpola linear sehingga dapat dilakukan uji korelasi. Uji homogenitas tidak dilakukan karena data penelitian diambil dari satu kelompok yang seragam (Arikunto, 2006).

Uji korelasi menunjukkan bahwa tidak ada hubungan yang kuat antara indeks vegetasi (NDVI) dengan cadangan karbon di atas permukaan tanah. Hal ini ditunjukkan oleh koefisien korelasi (r) yang hanya sebesar -0,063 dan koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,40%. Nilai indeks vegetasi yang lain yakni SR dan SAVI juga tidak memiliki korelasi yang nyata dengan cadangan karbon ($r = -0,068$ dan $r = -0,023$) dengan koefisien determinasi ($r^2 = 0,46\%$) untuk SR dan bahkan hanya 0,05% untuk SAVI. Koefisien korelasi antara indeks vegetasi (NDVI, SR, dan SAVI) dengan cadangan karbon sangat rendah dan arahnya negatif. Hal ini berarti bahwa semakin tinggi nilai indeks vegetasi maka semakin sedikit cadangan karbonnya. Meskipun demikian, nilai indeks vegetasi tersebut kurang baik jika digunakan untuk menduga cadangan karbon karena hubungan antara indeks vegetasi dengan cadangan karbon tidak signifikan dan nilai koefisien determinasinya di bawah 0,50%. Oleh karena itu, tidak perlu dilakukan uji lanjut untuk melihat potensi indeks vegetasi (NDVI, SR, dan SAVI) dalam mem-

Tabel 4. Cadangan karbon di atas permukaan tanah di Gugus Pulau Pari

Pulau	Kerapatan (Individu/ha)	DBH rata-rata (cm)	Cadangan Karbon (Kg/m ²)
Pari	9733,33	18,77	42841,25
Burung	7400,00	14,37	13486,64
Kongsi	10600,00	14,67	23283,52
Tengah	8133,33	7,99	4694,35
Kudus	15866,67	12,86	23402,41

perkiraan jumlah cadangan karbon di atas permukaan tanah.

PEMBAHASAN

Karakteristik Vegetasi Hutan Mangrove dan Cadangan Karbon

Vegetasi hutan mangrove di Gugus Pulau Pari tersusun atas delapan jenis tumbuhan mangrove, seluruhnya termasuk ke dalam tumbuhan mangrove sejati dan didominasi oleh suku Rhizophoraceae, Sonneratiaceae, dan Avicenniaceae. Jenis-jenis dari mar-ga tersebut umum dijumpai di wilayah pesisir Indonesia (Kawaroe, 2000). Ketiga suku tersebut merupakan suku penyusun zonasi, yakni zona Avicenia dan Soneratia yang terletak paling dekat dengan laut kemudian di belakangnya terdapat zona Rhizophora (Arief, 2003). Penelitian Sari (2007) menunjukkan perairan Gugus Pulau Pari memiliki suhu 29°C, salinitas 30_32psu, pH 8, dan kecepatan arus berkisar antara 0,11 sampai 0,14 m/s sehingga cocok untuk pertumbuhan mangrove. Karakteristik struktur vegetasi hutan mangrove juga dipengaruhi oleh faktor cuaca seperti curah hujan dan asupan nutrisi (Smith, 1992).

Jenis mangrove yang paling banyak ditemukan di Gugus Pulau Pari dan memiliki indeks nilai penting yang paling tinggi adalah *Rhizophora stylosa*. Hasil ini menunjukkan bahwa jenis *R. stylosa* merupakan penyusun utama vegetasi hutan mangrove serta mempunyai peranan penting dan paling mempengaruhi ekosistem mangrove di wilayah tersebut. Hal ini juga berarti bahwa jenis *R. stylosa* dapat beradaptasi dengan baik di berbagai kondisi lingkungan di kepulauan Gugus Pulau Pari. Helfinalis (1995) menyatakan bahwa Gugus Pulau Pari mem-

iliki substrat dasar pasir karbonat dengan kemiringan 2° hingga 3°. Aksornkoe (1993) mencatat jenis *R. stylosa* tumbuh dengan baik di pantai bersubstrat pasir. Namun demikian, Saefurahman (2008) menyatakan bahwa jenis yang memegang peranan penting dan paling berpengaruh terhadap ekosistem mangrove di Gugus Pulau Pari adalah jenis *Rhizophora mucronata* baru kemudian *R. stylosa*. Penyebab perbedaan tersebut belum diketahui secara pasti mungkin disebabkan oleh adanya perbedaan metode pemilihan lokasi sampling dan jumlah plot, dimana pada penelitian Saefurahman (2008) jumlah plot sebanyak tujuh plot yang ditentukan secara merata sedangkan dalam penelitian ini menggunakan 75 plot yang penempatannya dilakukan secara acak.

Jenis mangrove yang jarang ditemukan di Gugus Pulau Pari adalah *Sonneratia ovata* dan hanya tercatat di Pulau Kongsi dengan frekuensi kehadiran sebesar 0,07% dan indeks nilai penting hanya 2,2. Ini mengindikasikan bahwa jenis mangrove ini memiliki batas toleransi kondisi lingkungan yang sempit di Gugus Pulau Pari atau mungkin akibat kerusakan lingkungan. Kondisi ini semakin memprihatinkan mengingat kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam mengelola dan melestarikan hutan mangrove masih sangat rendah (Budiyanto, 2002). Akibatnya sejak tahun 1999 hingga 2006, luas hutan mangrove di Gugus Pulau Pari telah berkurang sekitar 101,920 m² atau 31,46% (Saefurahman, 2008).

Indeks keanekaragaman jenis yang paling tinggi terdapat di Pulau Pari yaitu 0,51. Ini menunjukkan bahwa Pulau Pari merupakan pulau dengan jenis penyusun vegetasi paling bervariasi, yakni terdiri atas lima jenis mangrove sejati. Beragamnya jenis mangrove penyusun vegetasi di pulau tersebut

mungkin karena tersedianya substrat berpasir halus hingga kasar serta kondisi geomorfologi pantai di pulau tersebut yang cocok untuk pertumbuhan mangrove. Wahid (2007) melaporkan bahwa Pulau Pari merupakan pulau yang terbentuk dari paparan karang dan memiliki keanekaragaman dan komposisi jenis mangrove dan substrat yang cukup beragam. Sebaliknya, keanekaragaman jenis mangrove di Pulau Burung dan Pulau Tengah sangat rendah yaitu satu jenis saja, yakni *R. stylosa*. Hal ini mungkin karena substrat dan kondisi lingkungan di daerah tersebut yang kurang cocok untuk pertumbuhan jenis-jenis mangrove lain.

Penelitian ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat nyata antara diameter pohon dengan cadangan karbon. Cadangan karbon atas permukaan di Gugus Pulau Pari berkisar antara 4,694 – 42,841 kg/m², di mana area dengan cadangan karbon atas permukaan terbesar adalah Pulau Pari yang rata-rata pohon penyusun vegetasinya berdiameter lebih besar dibandingkan dengan pulau-pulau lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa hutan mangrove di Gugus Pulau Pari memiliki potensi yang cukup bagus sebagai daerah penyimpan karbon (*carbon sink*) sehingga perlu dilestarikan. Lasco (2002) menyatakan bahwa cadangan karbon banyak terakumulasi pada tumbuhan berkayu, sehingga salah satu cara yang efektif untuk meningkatkan cadangan karbon yaitu melalui penanaman tanaman berkayu.

Pada kondisi tertentu, cadangan karbon juga memiliki hubungan dengan kerapatan pohon meskipun kurang nyata. Tamooch *et al.* (2008) menyatakan bahwa semakin kecil kerapatan pohon maka semakin besar cadangan karbon tersimpannya. Suatu daerah dengan kerapatan pohon rendah, misalnya Pulau Pari, memiliki jumlah pohon berdiameter besar yang lebih banyak daripada daerah lain dengan kerapatan tinggi seperti Pulau Kudus Lempeng. Meskipun demikian, tidak setiap hutan dengan kerapatan pohon rendah selalu memiliki lebih banyak pohon berdiameter besar, sehingga kerapatan pohon kurang tepat jika digunakan dalam pendugaan cadangan karbon. Fenomena ini terjadi di Pulau Tengah, mes-

kipun pulau ini memiliki kerapatan pohon yang lebih rendah dari Pulau Pari namun tidak menjadikan pulau tersebut memiliki cadangan karbon atas permukaan yang lebih besar. Hal ini karena rata-rata DBH pohon di pulau ini relatif kecil, serupa di Pulau Burung.

Indeks Vegetasi untuk Pendugaan Cadangan Karbon Atas Permukaan

Seperti yang telah diterapkan di berbagai penelitian sebelumnya, misalnya Warring *et al.* (1995), Foody *et al.* (2003), dan Lu (2005), langkah awal untuk menguji apakah indeks vegetasi dapat digunakan untuk memperkirakan cadangan karbon atas permukaan yaitu perlu dilakukan uji korelasi terlebih dahulu. Uji korelasi yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa indeks vegetasi NDVI, SR, dan SAVI yang diekstrapolasi dari citra satelit ALOS AVNIR-2 tidak memiliki hubungan yang kuat dengan cadangan karbon atas permukaan. Dengan demikian indeks vegetasi dari citra satelit tersebut kurang baik jika digunakan untuk menduga jumlah cadangan karbon di hutan mangrove tropis. Thenkabail *et al.* (2004) melaporkan bahwa citra satelit seperti Landsat, AVHRR dan MODIS juga belum dapat digunakan untuk memperkirakan cadangan karbon di hutan tropis dengan tingkat keakuratan yang tinggi. Walaupun demikian, metodologi penginderaan jauh dapat digunakan dengan baik untuk mengukur jumlah cadangan karbon di hutan subtropis dan hutan-hutan lain dengan kepadatan karbon yang rendah (Rosenqvist *et al.*, 2003). Hutan mangrove tropis termasuk hutan yang kaya akan kandungan karbon dan merupakan ekosistem yang kompleks di mana sinyal dari alat penginderaan jauh cenderung diserap secara cepat (Gibbs *et al.*, 2007).

Prinsip kerja NDVI adalah radiasi dari *visible red* diserap oleh klorofil sehingga dipantulkan rendah, sedangkan radiasi sinar *near-infrared* dipantulkan oleh struktur daun secara kuat yaitu melalui jaringan mesofil (Arhatin, 2007). Dengan kata lain besar kecilnya nilai NDVI tergantung dari kelembatan daun, sedangkan cadangan karbon terbanyak disim-

pan di dalam batang. Ini berarti sulit menghubungkan antara indeks vegetasi dengan cadangan karbon karena vegetasi yang berdaun lebat belum tentu memiliki ukuran diameter pohon yang besar. Berbagai upaya telah dilakukan untuk memperkirakan cadangan karbon di hutan melalui pengembangan hubungan statistik antara pengukuran karbon di lapangan dengan indeks vegetasi NDVI dari citra satelit Landsat, misalnya Foody *et al.* (2003) dan Lu (2005), akan tetapi metode tersebut kurang akurat untuk memperkirakan cadangan karbon di hutan tropis di mana sensor satelit kurang efektif akibat tutupan kanopi yang rapat dan hasilnya tidak dapat dikorelasikan dengan baik (Warring *et al.*, 1995).

Selain itu, nilai NDVI juga diketahui rentan terhadap gangguan atmosfer, misalnya partikel aerosol yang besar menyebabkan penurunan nilai NDVI dan partikel yang berukuran kecil menyebabkan kenaikan NDVI (Tanre *et al.*, 2011). Asner (2001) menyatakan bahwa di daerah tropis teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan sistem optik (*visible and infrared light*) memiliki keterbatasan karena adanya tutupan awan yang intensif. Hal seperti ini yang mungkin juga terjadi saat dilakukan perekaman area penelitian dengan menggunakan citra satelit ALOS AVNIR-2.

Hubungan antara cadangan karbon dengan indeks vegetasi SR dan SAVI juga tidak nyata. Hal ini disebabkan karena SR merupakan bentuk paling sederhana dari indeks vegetasi dan memiliki kaitan dengan banyaknya cahaya yang diserap oleh kanopi (Mroz dan Sobieraj 2004), sedangkan cadangan karbon atas permukaan paling banyak terdapat di batang. SAVI adalah indeks vegetasi yang persamaannya memasukan faktor kalibrasi tanah dalam perhitungannya (Qi *et al.*, 1994). Masuknya kalibrasi tanah tersebut tidak cukup kuat untuk menentukan jumlah cadangan karbon yang tersimpan.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa indeks vegetasi memiliki korelasi yang kuat dengan Leaf Area Index (LAI). Baptiste dan Jansen (2006) melaporkan bahwa NDVI memiliki korelasi kuat

dengan LAI yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui kandungan biomassa. Tingginya korelasi antara indeks vegetasi dengan LAI karena parameter yang diukur berkaitan erat dengan kehijauan kanopi (Ulumuddin *et al.*, 2005). Stenberg *et al.* (2004) menyatakan bahwa *Reduced Simple Ratio* (RSR) lebih baik dari pada NDVI untuk memperkirakan LAI. Dengan demikian, mengingat bahwa cadangan karbon dapat diperoleh melalui konversi data biomassa maka pendekatan menggunakan LAI mungkin dapat dikembangkan menjadi metode alternatif dalam pendugaan cadangan karbon atas permukaan.

Pendugaan cadangan karbon dapat dilakukan menggunakan instrumen penginderaan jauh tetapi hal tersebut masih memerlukan perbaikan mendasar sebelum digunakan secara rutin dalam skala nasional atau regional (DeFries *et al.*, 2007). Drake (2003) melaporkan bahwa tidak ada instrumen penginderaan jauh yang dapat mengukur cadangan karbon secara langsung dan masih tetap memerlukan data-data lapangan (*ground-based data*). Agar perkiraan cadangan karbon, khususnya di hutan mangrove tropis dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dapat lebih akurat, maka diperlukan pengembangan instrumen dan metode hubungan statistik antara indeks vegetasi NDVI, SR, dan SAVI dengan pengukuran di lapangan (*ground-based measurement*).

KESIMPULAN

Vegetasi hutan mangrove di Gugus Pulau Pari cukup beragam dengan keanekaragaman tertinggi terdapat di Pulau Pari. Wilayah ini mengandung cadangan karbon atas permukaan cukup besar (berkisar antara 4694,35 – 42841,25 kg/m²) sehingga hutan mangrove di wilayah tersebut perlu dilestarikan sebagai salah satu penyimpanan karbon (*carbon sink*). Uji korelasi yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa indeks vegetasi NDVI, SR, dan SAVI yang diekstrapolasi dari citra satelit ALOS AVNIR-2 tidak memiliki hubungan yang kuat dengan cadangan karbon atas permukaan. Dapat disimpulkan bahwa indeks vegetasi NDVI, SR, dan SAVI dari citra satelit ALOS AVNIR-2 kurang baik

jika digunakan untuk menduga jumlah cadangan karbon di atas permukaan tanah di hutan mangrove tropis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksornkoae S. 1993.** *Ecology and Management Mangrove*. IUCN. Bangkok, Thailand.
- Arhatin RE. 2007.** *Pengkajian Algoritma Indeks Vegetasi dan Metode Klasifikasi Mangrove dari Data Satelit Landsat-5 TM dan Landsat-7 ETM+ : Studi Kasus di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur*. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Arief A. 2003.** *Hutan Mangrove: Fungsi dan Manfaat*. Kanisius. Yogyakarta.
- Arikunto S. 2006.** *Prosedur Penelitian suatu Pendekatan Praktik*. PT. Rineka Cipta, Jakarta
- Asner GP. 2001.** Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. *Int. J. Remote Sens.* **22**, 3855–3862
- Baptiste NJ and JR Jensen. 2006.** Measurement of Mangrove Biophysical Characteristics in the Bocozele Ecosystem in Haiti using ASTER Multispectral Data. *Geocarto International* **21(4)**, 3-8
- Budiyanto. 2002.** *Partisipasi Masyarakat dalam Pengelolaan Ekosistem Mangrove Pulau Kecil Berpenghuni : Studi Kasus Pulau Lancang Besar, Kelurahan Pulau Pari, Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu, DKI Jakarta*. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Brown S and Gaston G. 1995.** Use of forest inventories and geographic information systems to estimate biomass density of tropical forests: the applications to tropical rain forest. *Africa Environ Monit Assess* **38**, 157-168.
- Cox GW. 1967.** *Laboratory Manual of General Ecology*. MWC. Brown Comp. Publishers, Dubuque, IOWA.
- DeFries R, Achard F, Brown S, Herold M, Murdiyarso D, Schlamadinger B and deSouza C. 2007** Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environ. Sci. Policy* **10**, 385–394
- Donato DC, JB Kauffman, D Murdiyarso, S Kurnianto, M Stidham, and M Kanninen. 2011.** Mangrove among the most carbon-rich forest in the tropics. *Nature Geoscience*. Published online. Doi:10.1038/NGEO1123.
- Drake J B. 2003.** Above-ground biomass estimation in closed-canopy neotropical forests using lidar remote sensing: factors affecting the generality of relationships. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **12**, 147–159
- Foody GM, Boyd DS and Cutler MEJ. 2003.** Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sens. Environ.* **85**, 463–474
- Gibbs HK, Sandra B, John ON, and Jonathan AF. 2007.** Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letter*. Published online. Doi:10.1088/1748-9326/2/4/045023.
- Giri C. 2011.** Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **20**, 154-159.
- Helfinalis. 1995.** Dampak Bangunan Dermaga terhadap Fauna dan Tumbuhan Laut di Pulau Pari, Kepulauan Seribu. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Terumbu Karang*. Jakarta 10-12 Oktober 1995, 172-176
- Houghton RA. 2005.** Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions. *Tropical Deforestation and Climate Changeed*. Mutinho dan Schwartzman (Belem: IPAM)
- Kawaroe M. 2000.** *Kontribusi Ekosistem Mangrove Terhadap Struktur Komunitas Ikan di Pantai Utara Kabupaten Subang Jawa Barat*. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Komiyama A, S Pongporm, and S Kato. 2005.** Common Allometric Equations for Estimating the Tree Weight of Mangroves. *Journal of Tropical Ecology.* **21**, 471-477
- Lasco RD. 2002.** Forest carbon budgets in Southeast Asia following harvesting and land cover change. In: Impacts of land use Change on the Terrestrial Carbon Cycle in the Asian Pacific Region'. *Science in China.* **45**, 76-86.
- Lu D. 2005** Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon *Int. J. Remote Sens.* **26**, 2509–2525
- Mastaller M. 1996.** Destruction of mangrove wetlands-causes and consequences. *Natural Resources and Development*, **43 (44)**, 37-57.
- Mroz M and A Sobieraj. 2004.** Comparison of Several Vegetation Indices Calculated on the Basis of a Seasonal Spot Xs Time Series, and their suitability for Land Cover and Agricultural Crop Identification. *Techn. Sc.* **7**, 39-66
- Okimoto Y, A Nose, K Ikeda, S Agarie, K Oshima, Y Tateda Takashi Ishii and DD Nhan. 2007.** An Estimation of CO₂ Fixation Capacity in Mangrove Forest using Two Methods of CO₂ Gas Exchange and Growth Curve Analysis. *Wetlands Ecology Management.* **16 (2)**, 155-171
- Qi J, A Chehbouni, AR Huete, YH Kerr, and S Sorooshian. 1994.** A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sens. Environ* **48**, 119-126.
- Rosenqvist A, Shimada M, Igarashi T, Watanabe M, Tadono T and Yamamoto H. 2003.** Support to multi-national environmental conventions and terrestrial carbon cycle science by ALOS and ADEOS-II—the Kyoto and carbon initiative *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003 Proc. 2003 IEEE International.* 1471–1476
- Saefurahman G. 2008.** *Distribusi, Kerapatan dan Perubahan Luas Vegetasi Mangrove Gugus Pulau Pari Kepulauan Seribu Menggunakan Citra Formosat 2 dan Landsat 7/ETM+.* Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Sari DW. 2007.** *Densitas dan Ukuran Gamet Spons Aaptos aaptos Alami dan Hasil Transplantasi di Gugusan Pulau Pari Kepulauan Seribu, DKI Jakarta*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Smith T J. 1992.** Forest structure. In A. I. Robertson and D. M. Alongi (eds.), *Tropical Mangrove Ecosystems*. American Geophysical Union, Washington, D.C. 101-136.
- Stenberg, P Rautiainen, M Manninen, T Voipio P and Smolander H. 2004.** Reduced simple ratio better than NDVI for estimating LAI in Finnish pine and spruce stands. 2004. *Silva Fennica.* **38(1)**, 3–14.
- Stephens B S. 2007.** Weak Northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO₂. *Science.* **316**, 1732–1735
- Sudjana. 2001.** *Metode Statistika*. Tarsito. Bandung
- Syahrinaldi S. 2010.** *Estimation Carbon Stock pada Tegakan Rhizophora stylosa dengan Menggunakan Citra ALOS AVNIR-2. Studi Kasus: Gugus Pulau Pari, Kepulauan Seribu*. Departemen Ilmu dan Teknologi Perikanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Tamooch F, M Huxham, M Karachi, M Mencuccini, JG Kairo and B Kirui. 2008.** Below-ground root yield and distribution in natural and replanted mangrove forests at Gazi Bay, Kenya. *Forest Ecology and Management*, 1290-1297
- Tanre D, FM Bréon, JL Deuzé, O Dubovik, F Ducos, P Francois, P Goloub, M Herman, A Lifermann and F Waquet. 2011.** Remote sensing of aerosols by using polarized, directional and spectral measurements within the A-

- Train: the PARASOL mission. *Atmospheric Measurement Techniques* **4**, 1383-1395
- Thenkabail PS, Enclona EA and Ashton MS. 2004.** Hyperion, IKONOS, ALI, and ETM+ sensors in the study of African rain forests. *Remote Sens. Environ.* **90**, 23-43
- Tucker CJ, Jorge EP, Molly EB., Daniel AS, Edwin WP, Robert M, Eric FV, and Nazmi ES. 2005.** An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing* **26(20)**, 4485-4498
- Ulumuddin YI, E Sulistyawati, DM Hakim dan AB. Harto. 2005.** Korelasi Stok Karbon dengan Karakteristik Spektral Citra Landsat: Studi Kasus Gunung Papandayan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN. XIV*, 1-12
- Wahid A. 2007.** Keanekaragaman Mangrove Di Gugus Pulau Pari Kepulauan Seribu. *Prosiding seminar nasional forum perairan umum indonesia iv*, Palembang, 30 November 2007, 13-20.
- Warring RH, Way J, Hunt ER. Jr, Morrissey L, Ranson KJ., Weishampel JF, Oren R and Franklin SE. 1995** Imaging radar for ecosystem studies. *BioScience* **45**, 715-23.