



**Laju Dekomposisi Serasah Daun di Ekosistem Bakau
Pulau Kelong, Kabupaten Bintan**

**Decomposition Rate of Leaf Litter in The Mangrove Ecosystem
of Kelong Island, Bintan Regency**

I Wayan E. Dharmawan^{1,2}, Neviaty P. Zamani¹ & Hawis H. Madduppa¹

¹Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

²UPT. Loka Konservasi Biota Laut, Biak

Email: iwayanekadharmawan@gmail.com

Submitted 28 May 2015. Reviewed 11 December 2015. Accepted 4 April 2016.

Abstrak

Hutan bakau di bagian tenggara Pulau Kelong memiliki cadangan karbon yang banyak dalam tegakan dan sedimen yang mengindikasikan produktivitas primer kawasan yang tinggi. Dekomposisi serasah daun, sebagai bagian dari produktivitas kawasan, menghasilkan unsur hara esensial sederhana yang dimanfaatkan untuk menopang pertumbuhan bakau. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui laju dekomposisi serasah daun di setiap zona penelitian, yaitu zona darat (*Landward*, L), tengah (*Middle zone*, M), dan dekat laut (*Seaward*, S) yang dibedakan berdasarkan kelimpahan jenis tumbuhan dan parameter in situ. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret–Mei 2015 di kawasan bakau Pulau Kelong, Kabupaten Bintan. Proses dekomposisi diamati pada enam interval waktu, yaitu 2, 4, 7, 14, 28, dan 42 hari dengan menggunakan kantong jaring yang berisi 10 g daun basah yang diletakkan di permukaan substrat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa L merupakan zona dengan persentase dekomposisi tertinggi ($56,34 \pm 20,58\%$) dibandingkan dengan M dan S yang berturut-turut sebesar $51,59 \pm 15,46\%$ dan $51,09 \pm 8,70\%$. Laju dekomposisi serasah paling tinggi di zona L yaitu $1,40 \pm 0,82 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hari}^{-1}$ yang berbeda nyata dari zona M dan S, berturut-turut sebesar $0,83 \pm 0,89 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hari}^{-1}$ dan $0,78 \pm 0,70 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hari}^{-1}$. Analisis koefisien laju dekomposisi (k) menunjukkan bahwa laju dekomposisi di dalam kawasan tergolong tinggi ($k > 0,01$). Laju dekomposisi memiliki korelasi dengan kelimpahan spesies bakau, nilai salinitas air, dan suhu tanah.

Kata kunci: bakau, produktivitas primer, komposisi jenis, laju dekomposisi, serasah daun.

Abstract

The mangrove forests in the southeastern part of Kelong Island have abundant carbon reserves that indicate high primary productivity areas. Decomposition of leaf litter, as a part of regional productivity, produces simple essential nutrients utilized to sustain the growth of mangroves. The purpose of this study was to determine the decomposition rate of leaf litter in each zone of the study, the Landward (L), Middle zone (M), and Seaward (S) which is distinguished by the abundance of plant species and in situ environmental parameters. The experiment was conducted in March–May 2015 in the mangrove areas of

Island Kelong, Bintan regency. The decomposition process was observed at six time intervals, i.e. 2, 4, 7, 14, 28, and 42 days using net bag containing 10 g of wet leaves placed on the substrate surface. The results showed that L was a zone with highest percentage of decomposition ($56.34 \pm 20.58\%$) compared to the M and S, respectively for $51.59 \pm 15.46\%$ and $51.09 \pm 8.70\%$. The highest rate of litter decomposition in zone L was $1.40 \pm 0.82 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ that was significantly different from the zones M and S, respectively of $0.83 \pm 0.89 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ and $0.78 \pm 0.70 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$. Analysis of the coefficient of decomposition rate (k) indicated that the rate of decomposition in this region was high ($k > 0.01$). The decomposition rate has a significant correlation with the abundance of mangrove species, the salinity value of the water, and soil temperature.

Keywords: mangrove, primary productivity, species composition, decomposition rate, leaf litter.

Pendahuluan

Bakau sebagai salah satu ekosistem pesisir merupakan komunitas tumbuhan tinggi yang mampu beradaptasi dengan baik di kawasan pasang-surut (Kathiresan & Bingham, 2001). Struktur tumbuhannya yang tinggi dan kokoh menjadikan hutan bakau berfungsi sebagai komponen penting dalam rantai makanan yang sangat kompleks dan potensial bagi kehidupan berbagai biota laut maupun terestrial, baik mikroorganisme maupun makroorganisme (Saenger et al., 2012; Abrantes et al., 2014). Tumbuhan bakau juga berperan sebagai sumber energi melalui guguran serasah atau bagian tumbuhan yang telah mati (Abrantes & Sheaves, 2009). Biota herbivora akan memecahnya menjadi bagian yang lebih kecil yang kemudian diuraikan oleh mikroorganisme melalui mekanisme dekomposisi (Camilleri, 1992; Robertson, 1998; Longonje & Raffaelli, 2015).

Dalam ekosistem bakau, dekomposisi merupakan proses katabolisme yang sangat penting bagi produktivitas primer kawasan. Pemecahan mekanik dan kimiawi yang dilakukan oleh organisme pengurai menghasilkan unsur hara esensial sederhana yang dapat dimanfaatkan untuk menopang pertumbuhan bakau dan biota lainnya. Kajian tentang dekomposisi sudah banyak dilakukan, baik di wilayah tropis maupun subtropis, antara lain oleh Ashton et al. (1999), Ananda et al. (2008), Li & Ye (2014), Tran (2014), dan Keuskamp et al. (2015). Letak geografis sangat penting dalam memengaruhi laju dekomposisi (Ainley & Bishop, 2015). Peningkatan aktivitas dekomposisi yang terjadi secara aerobik dapat meningkatkan emisi gas karbon dioksida ke dalam atmosfer (Cai, 2011). Hal ini disebabkan oleh kandungan organik yang tinggi dan faktor lingkungan in situ yang optimal bagi pertumbuhan organisme pengurai.

Serasah daun sebagai komponen utama dalam produktivitas primer bakau merupakan sumber karbon penting dalam proses de-

komposisi. Kualitas dan kuantitas serasah dalam ekosistem memberikan pengaruh kuat bagi aktivitas katabolisme organisme pengurai (Mooshammer et al., 2012). Kualitas serasah sangat dipengaruhi oleh jenis bakau yang memiliki kandungan nutrisi dan air yang berbeda-beda. Semakin tebal daun, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menguraikannya (Gartner & Cardon, 2004). Luas dan keragaman bakau di Indonesia menimbulkan variasi yang cukup tinggi pada kuantitas serasah bakau yang dihasilkan, yaitu berkisar $7,1\text{--}23,7 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{tahun}^{-1}$ (Sukardjo & Yamada, 1992; Sukardjo et al., 2013). Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan di Indonesia.

Pulau Kelong terletak dalam gugusan kepulauan di bagian tenggara Kabupaten Bintan. Pulau ini dikelilingi oleh hutan bakau yang cukup lebat. Aktivitas penambangan bauksit juga banyak ditemui di kawasan ini yang dalam dekade terakhir semakin meningkat. Hasil interpretasi citra Landsat tahun 2004–2014 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan luas lahan tambang secara horizontal. Secara vertikal, wilayah yang dulu merupakan bukit, sekarang hampir rata dengan tanah. Dharmawan et al. (2014) menjelaskan bahwa hutan bakau di Pulau Kelong memiliki cadangan karbon paling tinggi dengan kondisi vegetasi yang paling baik di antara sepuluh wilayah kajian di kawasan pesisir timur Kabupaten Bintan. Hutan bakau Pulau Kelong bagian tenggara memiliki cadangan karbon tiga kali lipat lebih besar dibandingkan dengan wilayah lain di Pulau Kelong (Dharmawan et al., 2014).

Stok karbon yang sangat tinggi dalam tanah, maupun biomassa vegetasinya mengindikasikan keberadaan sumber karbon yang berlimpah untuk mendukung proses dekomposisi yang terjadi di dalamnya. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang lebih lengkap untuk mendukung asumsi tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui laju dekomposisi

serasah daun di ekosistem bakau di Pulau Kelong bagian tenggara.

surut maksimal 0,494 cm/menit dan pasang 0,466 cm/menit.

Metodologi

Waktu dan Tempat Penelitian

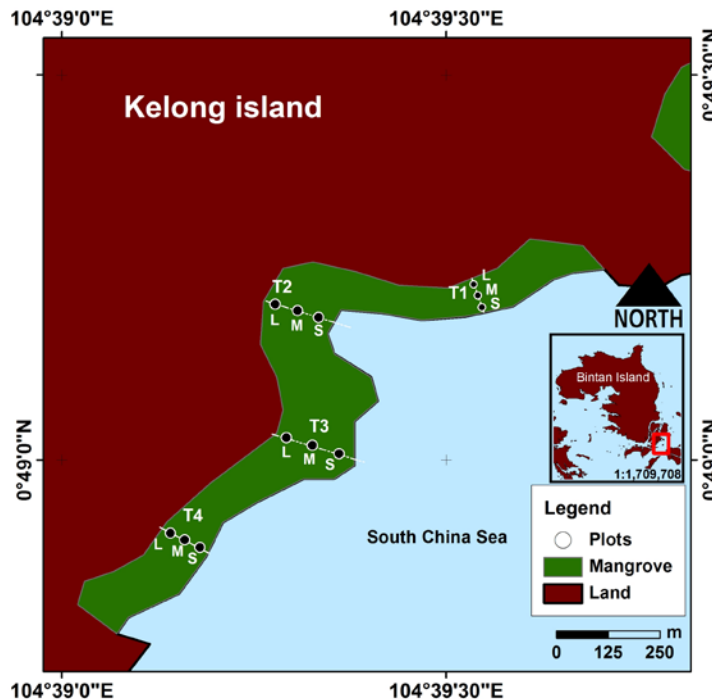
Penelitian dilaksanakan pada Maret–Mei 2015 di kawasan hutan bakau Pulau Kelong bagian tenggara. Kawasan ini dipilih karena memiliki cadangan karbon tertinggi dibandingkan dengan wilayah lain di Pulau Kelong, maupun di kawasan pesisir timur Kabupaten Bintan (Dharmawan et al., 2014). Secara administratif, lokasi penelitian terletak di Kecamatan Bintan Timur yang berjarak 26 km dari pusat Kota Tanjung Pinang, Kabupaten Bintan.

Hutan bakau ini memiliki ketebalan maksimal 200 m yang merupakan hutan primer. Kawasan ini memiliki enam muara sungai kecil dengan lebar ± 1 m. Kawasan dibagi dalam tiga zona, yaitu zona dekat laut (Seaward, S), zona tengah (Middle zone, M), dan zona dekat daratan (Landward, L) yang dikaji dengan empat transek tegak lurus garis pantai (Gambar 1). Karakteristik setiap zona diperlihatkan dalam Tabel 1.

Substrat berbatu ditemukan di bagian pantai dengan ketebalan ekosistem bakau sekitar 304 m. Pasang surut air laut tipe campuran condong ke harian tunggal dengan rentang pasang tertinggi dan surut terendah sebesar 89 cm, serta kecepatan

Analisis Kondisi Vegetasi Bakau

Penelitian ini menggunakan metode transek garis dengan plot berukuran 10 m x 10 m yang ditarik tegak lurus garis pantai. Total plot sebanyak 12 buah (3 zona x 4 transek) dibuat untuk mengukur kondisi komunitas bakau kategori pohon atau setinggi ± 130 cm dengan diameter ≥ 4 cm dan kategori pancang (*sapling*) dengan diameter < 4 cm. Di dalam plot 10 x 10 m² dibuat lagi subplot berukuran 5 m x 5 m (Ashton & Macintosh, 2002). Identifikasi spesies bakau dilakukan berdasarkan Noor et al. (1999) dan Giesen et al. (2006). Kerapatan serta indeks nilai penting jenis pada pohon dan pancang dihitung berdasarkan English et al. (1997). Persentase tutupan kanopi bakau didekati dengan metode *hemispherical photography* (Dharmawan & Pramudji, 2014). Parameter lingkungan in situ seperti suhu, pH, salinitas, konduktivitas, dan TDS dalam air dan sedimen diukur dengan menggunakan pHmeter EZODO PH5011 dan SCTmeter YSI EC200. Stok serasah daun (*litter standing stock*) di permukaan tanah setiap plot dihitung menggunakan plot kecil berukuran 1 m x 1 m. Serasah daun dikeringkan pada suhu 80°C selama 1 minggu, kemudian ditimbang (Robertson & Daniel, 1989).



Gambar 1. Lokasi penelitian yang menunjukkan empat lokasi transek (T1–T4) serta zona daratan (L), zona tengah (M), dan zona laut (S).

Figure 1. Study sites showing the four transect locations (T1–T4) and the landward (L), middle (M), and seaward (S) zones.

Tabel 1. Perbandingan nilai rata-rata parameter lingkungan dalam substrat dan air di setiap zona transek (L, M, dan S) bakau di Pulau Kelong.

Table 1. Comparison of the average values of environmental parameters in each zone of mangrove transects (L, M, and S) of Kelong island.

	Zone		
	L	M	S
Substrate	Mud	Mud	Sandy mud
Species composition	Mostly <i>Xylocarpus granatum</i>	<i>Rhizophora apiculata</i> and others	Mostly <i>R. apiculata</i>
Substrate pH	6.95 ± 0.06 ^a	7.08 ± 0.10 ^a	7.40 ± 0.08 ^b
Substrate temperature (°C)	28.13 ± 0.10 ^a	28.75 ± 0.19 ^b	28.83 ± 0.10 ^b
Substrate salinity (ppt)	10.58 ± 0.17 ^a	8.65 ± 5.11 ^a	10.88 ± 0.55 ^a
Water pH	6.93 ± 0.10 ^a	7.10 ± 0.08 ^a	7.65 ± 0.13 ^b
Water temperature (°C)	28.35 ± 0.06 ^a	28.80 ± 0.14 ^b	29.38 ± 0.26 ^c
Water salinity (ppt)	24.60 ± 0.68 ^a	23.03 ± 2.48 ^a	32.15 ± 0.13 ^b
Water conductivity (mS)	40.03 ± 0.17 ^a	40.03 ± 3.78 ^a	53.30 ± 0.18 ^b
Water TDS (g/L)	12.04 ± 0.33 ^a	11.52 ± 1.08 ^a	15.26 ± 0.04 ^b

Letters ^a and ^b represent the result of one way ANOVA followed by Tukey test $p < 0.05$.

Different letters indicate statistically significant differences among sampling sites.

Penghitungan Laju Dekomposisi

Laju dekomposisi dihitung berdasarkan metode yang dimodifikasi dari Ashton et al. (1999) dan Dewiyanti (2010). Daun kuning yang masih segar dalam kelompok pohon dari spesies yang dominan dikoleksi dari setiap zona, yaitu *R. apiculata* dari zona S dan M, serta *X. granatum* dari zona L. Daun dibersihkan, didiamkan selama 24 jam, ditimbang sebanyak 10 g (W_1), lalu dimasukkan ke dalam kantong jaring berukuran 10 x 10 cm² dengan ukuran mata jaring (*mesh size*) 1 mm². Kantong daun diletakkan di atas permukaan substrat bakau dan diikatkan pada akar sejajar dengan substrat untuk mencegah kantong terbawa arus pasang surut. Untuk setiap zona dibuat empat kali ulangan dan enam kali perlakuan waktu pengamatan (hari ke-2, 4, 7, 14, 28, 42). Kantong dikoleksi pada hari yang sudah ditentukan dan dibawa ke laboratorium. Daun dibersihkan dan dimasukkan ke dalam oven bersuhu 60°C selama 3–5 hari atau sampai beratnya konstan. Setiap sampel ditimbang dan dicatat berat keringnya (W_2).

Faktor konversi (f) berat basah ke berat kering dihitung sebagai persentase kandungan biomassa dalam daun kuning. Berat basah (BB) koleksi daun kuning ditimbang, kemudian dioven pada suhu 60°C selama 3–5 hari atau sampai tidak ada perubahan berat. Daun kering ditimbang untuk mendapatkan berat kering (BK).

$$f = \frac{BB-BK}{BB} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan:

f = faktor konversi berat basah ke berat kering (%).

Laju dekomposisi serasah (LD) dalam selang waktu tertentu (Δt), persentase terdekomposisi (D), koefisien laju dekomposisi (k), dan waktu yang dibutuhkan untuk mendekomposisi setengah sampel (t_{50}) dihitung dengan menggunakan persamaan (2)–(5) berdasarkan Ashton et al. (1999), yaitu:

$$LD = \frac{(W_1 \times f) - W_2}{\Delta t} \quad (2)$$

$$D = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

$$k = \frac{\ln(X_t/X_0)}{\Delta t} \quad (4)$$

$$t_{50} = \frac{\ln 2}{k} \quad (5)$$

Keterangan:

LD = Laju dekomposisi (g/m²/hari)

W_1 = berat basah daun kuning (g)

W_2 = berat kering daun setelah terdekomposisi dalam waktu tertentu (g)

f = faktor konversi berat basah ke berat kering (%)

Δt = selang waktu pengamatan (hari)

D = persentase terdekomposisi (%)

k = koefisien laju dekomposisi

t_{50} = waktu yang dibutuhkan untuk mendekomposisi setengah sampel (hari)

X_t = persentase serasah daun setelah terdekomposisi dalam kurun waktu tertentu (t)
 X_0 = persentase serasah daun sebelum terdekomposisi.

untuk menentukan korelasi antarparameter dengan menggunakan analisis korelasi Spearman.

Analisis Data

Data univariat seperti vegetasi (kerapatan bakau kategori pohon dan pancang), persentase tutupan kanopi, stok serasah bakau, parameter lingkungan (pH, suhu, salinitas, konduktivitas, TDS dalam sedimen dan air), laju dekomposisi, koefisien laju dekomposisi (*k*), dan t_{50} dianalisis dengan ANOVA menggunakan perangkat lunak tidak berbayar R-studio. Analisis jarak (indeks similaritas) *Eucladian distance* digunakan untuk setiap parameter lingkungan dan komposisi jenis pohon. Analisis *multidimensional scaling* (MDS) terhadap indeks similaritas seluruh parameter digunakan untuk menentukan ordinasi setiap plot pengukuran dan menegaskan klasifikasi zonasi dengan menggunakan perangkat lunak PRIMER 5. Selain itu, indeks similaritas juga digunakan

Hasil

Kondisi Komunitas Bakau

Kerapatan pohon di lokasi penelitian tertinggi ditemukan di zona darat (*Landward*, L) sebesar 2.175 ± 222 pohon/ha yang berbeda nyata ($P < 0,05$) dari dua zona yang lain. Zona dekat laut (*Seaward*, S) memiliki kerapatan bakau kategori pohon yang paling rendah. Namun, pada kategori pancang, zona S memiliki tegakan yang paling rapat dan berbeda nyata dibandingkan dua stasiun lain (Tabel 2). Dari segi keanekaragaman jenis, zona S hanya memiliki dua spesies bakau dan paling rendah dibandingkan zona darat dan zona tengah. Berdasarkan persentase tutupan tajuk, komunitas bakau di dalam kawasan termasuk dalam kategori baik, dengan nilai persentase tutupan $87,96 \pm 6,88\%$ (L) sampai $91,31 \pm 1,14\%$ (M) yang tidak berbeda nyata antarzona.

Tabel 2. Kerapatan bakau kategori pohon dan pancang, jumlah jenis, indeks nilai penting (INP) pohon, dan persentase tutupan kanopi bakau serta kepadatan serasah di tiga zona (L, M, dan S) Pulau Kelong.
 Table 2. Density of mangrove for tree and sapling categories, number of species, importance value (IV) index, percentage of canopy cover of mangrove, and litter stand in three zones (L, M, dan S) of Kelong Island.

Parameter	Zone		
	L	M	S
Tree density (ind/ha)	2175 ± 222^a	1800 ± 141^b	1550 ± 191^b
<i>Rhizophora apiculata</i>	425 ± 544	1425 ± 126	1475 ± 171
<i>Brugueira gymnorrhiza</i>	n.a.	100 ± 82	n.a.
<i>Xylocarpus granatum</i>	1750 ± 332	200 ± 82	n.a.
<i>X. mollucensis</i>	n.a.	75 ± 50	75 ± 50
Sapling density (ind/ha)	975 ± 287^a	925 ± 150^a	1875 ± 50^b
<i>R. apiculata</i>	325 ± 330	850 ± 191	1875 ± 50
<i>B. gymnorrhiza</i>	n.a.	200 ± 115	n.a.
<i>X. granatum</i>	525 ± 171	75 ± 96	n.a.
<i>X. mollucensis</i>	n.a.	n.a.	n.a.
<i>Aegiceras corniculatum</i>	125 ± 96	n.a.	n.a.
Total species	3	4	2
Tree IV index^{*)}			
Highest	XG: 232.42%	RA: 177.32%	RA: 237.53%
Lowest	RA: 67.58%	XM : 30.60%	XM: 62.47%
% canopy cover	87.96 ± 6.88^a	91.31 ± 1.14^a	90.48 ± 0.54^a
Litter stand (g DW/m²)	78.23 ± 14.16	81.61 ± 11.25	82.09 ± 19.37

XG = *X. granatum*, RA = *R. apiculata*, XM = *X. mollucensis* n.a. = data not available.
 Letters ^a and ^b represent the result of one way ANOVA followed by Tukey test $p < 0.05$.
 Different letters indicate statistically significant differences among sampling sites.

Laju Dekomposisi

Selama 42 hari pengamatan, zona L menunjukkan proses dekomposisi tercepat, yaitu sebesar $56,34 \pm 20,58\%$ dibandingkan dengan zona M dan S, yaitu berturut-turut sebesar $51,59 \pm 15,46\%$ dan $51,09 \pm 8,70\%$. Berat kering daun terdekomposisi selama waktu pengamatan ditunjukkan dalam Gambar 2. Laju dekomposisi rata-rata di zona L juga paling tinggi, yaitu $1,40 \pm 0,82 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hari}^{-1}$ yang berbeda nyata dari dua zona lain, yaitu zona M ($0,83 \pm 0,89 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hari}^{-1}$) dan zona S ($0,78 \pm 0,70 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hari}^{-1}$) (Tabel 3).

Pembahasan

Komunitas bakau di bagian tenggara Pulau Kelong didominasi oleh spesies *Rhizophora apiculata* yang ditemukan di semua zona penelitian. Kondisi substrat yang berlumpur dan anoksik memungkinkan spesies ini tumbuh dengan baik. Duke (2006) menyebutkan bahwa *Rhizophora* memiliki akar tunjang yang kuat, mengelilingi batang utama sebagai penopang pertumbuhannya di wilayah berlumpur dan anoksik. Hogarth (2007) menambahkan bahwa akar *Rhizophora* memiliki lentisel yang merupakan struktur penyerap oksigen terlarut dari air, tanah, atau udara secara difusi sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan yang miskin oksigen.

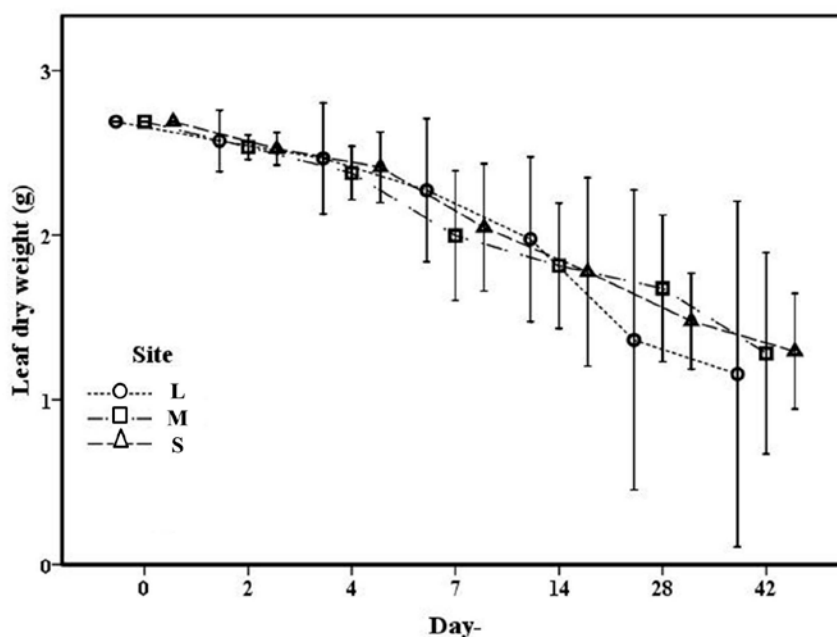
Jenis substrat sangat memengaruhi dominansi suatu spesies di kawasan bakau

oseanik. Di zona S dan M dengan sedimen campuran pasir dan lumpur, spesies-spesies *Rhizophora* mendominasi wilayah tersebut, sedangkan zona L dengan substrat lumpuran yang berstruktur lebih padat didominasi oleh *Xylocarpus granatum*. Zona M yang memiliki tipe substrat campuran antara zona L dan S memiliki variasi keanekaragaman jenis yang lebih beragam.

Salinitas merupakan faktor kunci yang menimbulkan variasi jenis dalam setiap zona. Salinitas air di zona S jauh lebih tinggi ($32,05 \pm 0,06$ ppt) dan berbeda signifikan dibandingkan dengan zona L dan M ($24,58 \pm 0,67$ ppt dan $24,13 \pm 2,56$ ppt). Tren yang sama juga ditemukan untuk nilai konduktivitas dan TDS air.

Perbedaan gradien konsentrasi parameter lingkungan (elevasi morfologi pantai, gradien komposisi fraksi sedimen, salinitas, gradien hara, dan genangan) yang tegak lurus garis pantai akan memengaruhi zonasi dan komposisi jenis tumbuhan yang menyusunnya (Lopez-Portillo & Ezcurra, 1989; Fujimoto & Miyagi, 1993; Vilarrubia, 2000).

Perbedaan gradien konsentrasi parameter lingkungan (elevasi morfologi pantai, gradien komposisi fraksi sedimen, salinitas, gradien hara, dan genangan) yang tegak lurus garis pantai akan memengaruhi zonasi dan komposisi jenis tumbuhan yang menyusunnya (Lopez-Portillo & Ezcurra, 1989; Fujimoto & Miyagi, 1993; Vilarrubia, 2000).



Gambar 2. Berat kering (g) daun yang terdekomposisi dari hari ke-0 sampai hari ke-42.

Figure 2. Dry weight (g) of decomposed leaves from day 0 to day 42.

Tabel 3. Laju dekomposisi serasah (LD), persamaan dekomposisi dan koefisien determinasi (R^2), koefisien laju dekomposisi (k), dan waktu paruh (t_{50}) dekomposisi serasah daun di tiga zona bakau Pulau Kelong.

Table 3. Litter decomposition rate (LD), decomposition equations and determination coefficient (R^2), coefficient of decomposition (k), and half time (t_{50}) of leaf litter decomposition in three zones of Kelong island mangrove.

Site	LD (g/m ² /d)	Equation	R ²	k (d ⁻¹)	t ₅₀ (days)
L	1.40 ± 0.82 ^a	y = 0.7350 e-0.022x	0.929	0.022± 0.012	45
M	0.83 ± 0.89 ^b	y = 0.7271 e-0.027x	0.979	0.027± 0.029	43
S	0.78 ± 0.70 ^b	y = 0.7176 e-0.026x	0.984	0.026± 0.024	44
Overall	2.57 ± 2.20	y = 0.7266 e-0.025x	0.980	0.025± 0.023	44

Letters ^a and ^b represent the result of one way ANOVA followed by Tukey test p < 0.05. Different letters indicate statistically significant differences among sampling sites.

Tidak ada pola pasti mengenai zonasi bakau. Namun secara umum, spesies-spesies yang tahan terhadap salinitas tinggi seperti dari genus *Avicennia* dan *Sonneratia* akan menempati zona pantai. Pada penelitian ini, *Rhizophora apiculata* ditemukan dominan di zona S yang memiliki salinitas tinggi (32,05 ppt). Spesies ini memiliki kemampuan adaptasi pada rentang salinitas yang sangat lebar, sehingga ditemukan di seluruh zona penelitian. Ada tiga mekanisme yang dimiliki oleh *Rhizophora* untuk beradaptasi dengan kadar garam yang tinggi, yaitu akar ultrafiltrasi, jaringan penyimpan air, dan aliran garam ke daun tua (Chapman, 1976). Selain mekanisme adaptasi tersebut, kondisi substrat yang berlumpur juga merupakan tempat hidup yang sangat baik untuk *R. apiculata*. Analisis korelasi Spearman terhadap kelimpahan jenis untuk kelas pohon dan parameter in situ air di setiap zona menunjukkan hubungan yang signifikan (P < 0,01) (Tabel 4). Berdasarkan analisis MDS hasil pengukuran parameter in situ dan komposisi jenisnya, terlihat jelas ada pembagian zonasi (L, M, dan S) di seluruh transek di kawasan ini (Gambar 3).

Laju dekomposisi serasah yang diperoleh dari kombinasi biomassa yang hilang dan stok serasah dalam setiap zona menunjukkan nilai rata-

rata yang berkisar dari 0,78 ± 0,70 g·m⁻²·hari⁻¹ (zona S) hingga 1,40 ± 0,82 g·m⁻²·hari⁻¹ (zona L). Zona S dan M yang didominasi oleh *R. apiculata* memiliki laju dekomposisi yang lebih rendah dibandingkan dengan zona L yang didominasi oleh *X. granatum*. Hal ini dapat disebabkan oleh dua faktor, yaitu kondisi habitat dan karakteristik jenis daun. Substrat di zona L cenderung berlumpur dengan kandungan organik yang tinggi serta durasi terendam gelombang pasang lebih pendek. Dengan demikian, jumlah populasi, komposisi, dan aktivitas mikroorganisme pengurai di zona L menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan zona S dan M. Komposisi bakteri berbanding lurus dengan kandungan organik dalam sedimen (Holguin et al., 2001; Bouillon et al., 2003). Hardjowigeno (2003) menjelaskan bahwa tanah yang semakin lama tergenang, akan menurunkan laju dekomposisi. Lebih lanjut, ditinjau dari segi karakteristik daun, *Xylocarpus* memiliki daun dengan kandungan air yang lebih rendah dibandingkan dengan *Rhizophora*. Namun, persentase kandungan karbon per gram berat kering daun pada *Xylocarpus* dan *Rhizophora* hampir mirip, yaitu 40,7% dan 41,2% secara berurutan (Rao et al., 1994).

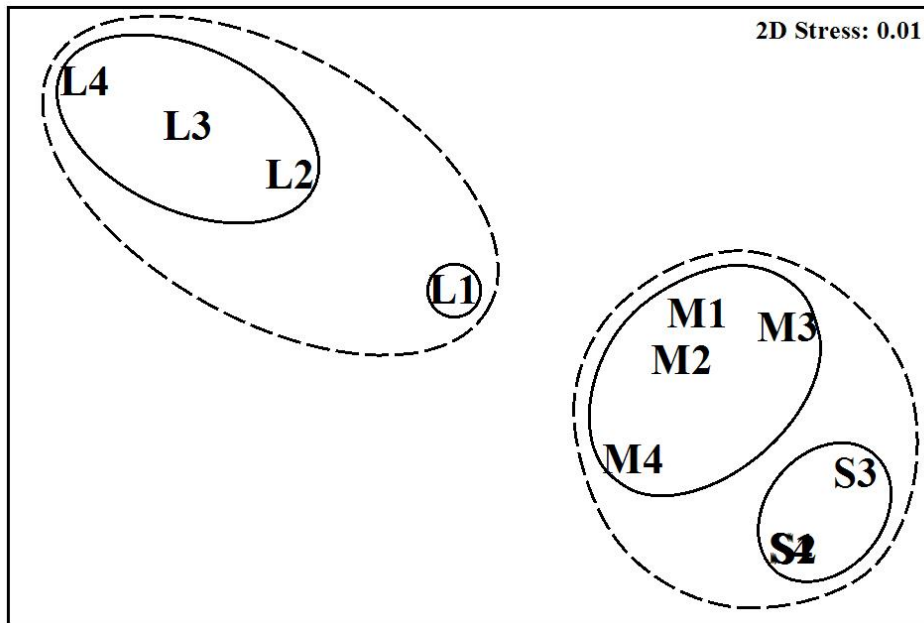
Tabel 4. Koefisien korelasi antara parameter lingkungan (air dan substrat) dengan kelimpahan jenis (TA) dan laju dekomposisi (DR).

Table 4. Coefficient of correlation between environmental parameters (water and substrate) with tree abundance (TA) and decomposition rate (DR).

	Water					Substrate			TA	DR
	Temp.	pH	Sal.	Cond.	TDS	Temp	pH	Sal.		
TA	0.531	0.507	0.314	0.372	0.299	0.778	0.383	-0.178	-	0.505
DR	0.151	0.048	-0.264	-0.031	-0.097	0.320	0.103	-0.079	0.505	-

■ : significance level at α = 0.05

■ : significance level at α = 0.01



Gambar 3. Analisis MDS (*multidimensional scaling*) terhadap plot berdasarkan kondisi lingkungan in situ (air dan substrat) dan kelimpahan jenis pohon.

Figure 3. Multidimensional scaling analysis against plots based on in situ environmental conditions (water and substrate) and tree species abundance.

Nilai laju dekomposisi berdasarkan hasil penghitungan t_{50} rata-rata diperoleh setelah 44 hari. Penelitian Ashton et al. (1999) menunjukkan di kawasan bakau yang masih alami, nilai t_{50} sekitar 43 hari, sedangkan di kawasan terbuka nilai t_{50} lebih besar, yaitu 76 hari. Dewiyanti (2010) memperoleh nilai t_{50} di zona dekat laut (63 hari) lebih cepat dibandingkan zona darat (67 hari). Tabel 4 menunjukkan bahwa laju dekomposisi memiliki hubungan yang signifikan dengan suhu substrat dan salinitas air. Graca et al. (2005) menjelaskan bahwa peluruhan serasah daun didefinisikan sebagai kehilangan berat akibat beberapa proses fisio-kimia yang disebabkan oleh kondisi lingkungan. Kuers & Simmons (2006) menambahkan bahwa proses dekomposisi akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu lingkungan.

Berdasarkan nilai rata-rata koefisien laju dekomposisi k ($0,025 \pm 0,023$ per hari), seluruh kawasan penelitian memiliki laju dekomposisi yang tergolong tinggi. Ananda et al. (2008) menggolongkan laju dekomposisi menjadi tiga kategori berdasarkan nilai k , yaitu tinggi ($k > 0,01$), sedang ($k = 0,005-0,01$), rendah ($k < 0,005$). Penelitian Dewiyanti (2010) di kawasan hutan bakau Pulau Weh menunjukkan koefisien laju dekomposisi yang lebih rendah, yaitu $0,010 \pm 0,000577$ per hari, sedangkan Ashton et al. (1999) menghitung nilai k sebesar $0,00163$ per hari di kawasan hutan bakau alami yang didominasi oleh

R. apiculata di hutan bakau Semenanjung Malaysia.

Analisis korelasi antara komposisi jenis dan laju dekomposisi menemukan korelasi positif dan signifikan antara kedua parameter tersebut (Tabel 4). Komposisi jenis tegakan yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan menghasilkan zonasi yang berbeda di lokasi penelitian (Gambar 3). Kondisi lingkungan yang berbeda ini berperan sebagai faktor fisio-kimia yang memengaruhi intensitas dekomposisi yang berlangsung (Graca et al., 2005). Variabilitas kondisi komunitas tumbuhan dan lingkungan ini juga memengaruhi distribusi organisme pengurai yang hidup di kawasan hutan bakau (Hyde & Lee, 1995; Ikenaga et al., 2010; Li et al., 2011).

Kesimpulan

Laju dekomposisi serasah di kawasan hutan bakau Pulau Kelong tergolong tinggi dengan nilai $k > 0,01$. Kawasan yang dekat dengan daratan memiliki laju dekomposisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan zona tengah maupun zona dekat laut. Proses dekomposisi yang terjadi berhubungan erat dengan komposisi jenis antarzona, kondisi suhu substrat, dan salinitas perairan. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa bakau di Pulau Kelong memiliki laju siklus karbon yang cukup tinggi yang berdampak pada mekanisme penyimpanan karbon yang cepat,

sehingga menyebabkan cadangan karbon yang tinggi dalam sedimen. Diperlukan penelitian lanjutan yang mencakup seluruh aspek produktivitas bakau yang sangat bermanfaat untuk mengidentifikasi potensi bakau dalam upaya mitigasi perubahan iklim regional maupun global.

Persantunan

Terima kasih disampaikan kepada Bapak Moh. Saleh dan Zamrizal, tenaga lokal dari Sei Enam, Kabupaten Bintan, yang telah membantu pelaksanaan penelitian di lapangan yang telah dilakukan secara mandiri untuk mendukung penelitian karbon sebelumnya. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Pramudji dari Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta yang telah memberikan fasilitas alat dan laboratorium dalam pengerjaan seluruh sampel penelitian.

Daftar Pustaka

- Abrantes KG & M Sheaves. 2009. Food web structure in a near-pristine mangrove area of the Australian Wet Tropics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 82: 597–607.
- Abrantes KG, R Johnston, RM Connolly & M Sheaves. 2014. Importance of Mangrove Carbon for Aquatic Food Webs in Wet-Dry Tropical Estuaries. *Estuaries and Coasts*. doi:10.1007/s12237-014-9817-2.
- Ainley LB & MJ Bishop. 2015. Relationships between estuarine modification and leaf litter decomposition vary with latitude. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, doi:10.1016/j.ecss.2015.07.027.
- Ananda K, KR Sridhar, NS Raviraja & F Baerlocher. 2008. Breakdown of fresh and dried *Rhizophora mucronata* leaves in a mangrove of Southwest India. *Wetlands Ecol Manage*, 112: 73–81.
- Ashton EC & DJ Macintosh. 2002. Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 166: 111–129.
- Ashton EC, PJ Hogarth & R Ormond. 1999. Breakdown of mangrove leaf litter in a managed mangrove forest in Peninsular Malaysia. *Hydrobiologia*, 413: 77–88.
- Bouillon S, F Dahdouh-Guebas, AVVS Rao, N Koedam & F Deha. 2003. Sources of organic carbon in mangrove sediments: variability and possible ecological implications. *Hydrobiologia*, 495: 33–39.
- Cai WJ. 2011. Estuarine and Coastal Ocean Carbon Paradox: CO₂ Sinks or Sites of Terrestrial Carbon Incineration? *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 3: 123–45.
- Camilleri JC. 1992. Leaf-litter processing by invertebrates in a mangrove forest in Queensland. *Marine Biology*, 114: 139–145.
- Chapman VJ. 1976. *Mangrove Vegetation*. J. Cramer. Auckland, New Zealand. 447 pp.
- Dewiyanti I. 2010. Litter decomposition of *Rhizophora stylosa* in Sabang-Weh Island, Aceh, Indonesia; evidence from mass loss and nutrients. *Biodiversitas*, 11(3): 139–144.
- Dharmawan IWE & Pramudji. 2014. *Panduan Monitoring Kesehatan Ekosistem Mangrove*. COREMAP-CTI, Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI. Jakarta. 35 pp.
- Dharmawan IWE, YI Ulumudin & Afdal. 2014. Estimasi stok karbon ekosistem mangrove di Pesisir Timur Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau. *Oseanologi dan Limnologi Indonesia*, 40(3): 267–281.
- English S, C Wilkinson & V Baker. 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. Australian Institute of Marine Science. Townsville, Australia. 378 pp.
- Duke NC. 2006. *Rhizophora apiculata*, *R. mucronata*, *R. stylosa*, *R. annamalai*, *R. lamarckii* (Indo-West Pacific stilt mangrove). <http://www.agroforestry.net/tti/Rhizophora-IWP.pdf>. Diakses tanggal 1 Mei 2015.
- Fujimoto K & T Miyagi. 1993. Development process of tidal-flat type mangrove habitats and their zonation in the Pacific Ocean. *Vegetation*, 106: 137–146.
- Gartner TB & ZG Cardon. 2004. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. *Oikos*, 104: 230–246.
- Giesen W, S Wulffraat, M Zieren & L Scholten. 2006. *Mangrove Guidebook for Southeast Asia*. FAO and Wetlands International. Bangkok. 769 pp.
- Graca MAS, F Baerlocher & MO Gessner. 2005. *A Practical Guide; Methods to Study Litter Decomposition*. Springer. Netherlands. 329 pp.
- Hardjowigeno S. 2003. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akademika Pressindo. Jakarta. 274 pp.
- Hogarth P. 2007. *The Biology of Mangroves and Seagrasses*. Oxford University Press Inc. New York. 273 pp.
- Holguin G, P Vazquez & Y Bashan. 2001. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation

- of mangrove ecosystems: an overview. *Biol Fertil Soils*, 33: 265–278.
- Hyde KD & SY Lee. 1995. Ecology of mangrove fungi and their role in nutrient cycling: what gaps occur in our knowledge?. *Hydrobiologia*, 295: 107–118.
- Ikenaga M, R Guevara, AL Dean, C Pisani & JN Boyer. 2010. Changes in Community Structure of Sediment Bacteria Along the Florida Coastal Everglades Marsh Mangrove Seagrass Salinity Gradient. *Microb. Ecol.*, 59: 284–295.
- Kathiresan L & BL Bingham. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 40: 81–251.
- Keuskamp JA, MM Hefting, BJJ Dingemans, JTA Verhoeven & IC Feller. 2015. Effects of nutrient enrichment on mangrove leaf litter decomposition. *Science of the Total Environment*, 508: 402–410.
- Kuers K & J Simmons. 2006. Leaf Litter Decomposition. CAWS Litter Decomposition Study. http://faculty.ycp.edu/~kkleiner/ecology/LabData_S2011/Slopes/LitterDecomp_Study_word_Sewanee.pdf. Diakses tanggal 1 Mei 2015.
- Li M, YG Hong, HL Cao & JD Gu. 2011. Mangrove trees affect the community structure and distribution of anammox bacteria at an anthropogenic-polluted mangrove in the Pearl River Delta reflected by 16S rRNA and hydrazine oxidoreductase (HZO) encoding gene analyses. *Ecotoxicology*, 20: 1780–1790.
- Longonje SN & D Raffaelli. 2015. Feeding ecology of mangrove crabs in cameroon. *Applied Ecology and Environmental Research*, 12(4): 959–973.
- Mooshammer M, W Wanek, J Schneckler, B Wild, S Leitner, F Hofhansl, A Blochl, I Hammerle, AH Frank, L Fuchslueger, KM Keiblinger, S Zechmeister-Boltenstern & A Richter. 2012. Stoichiometric controls of nitrogen and phosphorus cycling in decomposing beech leaf litter. *Ecology*, 93: 770–782.
- Noor YR, M Khazali & INN Suryadiputra. 1999. *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. PHKA/Wi-IP. Bogor. 220 pp.
- Li T & Y Ye. 2014. Dynamics of decomposition and nutrient release of leaf litter in *Kandelia obovata* mangrove forests with different ages in Jiulong jiang Estuary, China. *Ecological Engineering*, 73: 454–460.
- Lopez-Portillo J & E Ezcurra. 1989. Zonation in mangrove and saltmarsh vegetation at Laguna de Mecoacan, Mexico. *Biotropica*, 21(2): 107–114.
- Rao RG, AF Woitchik, L Goeyens, A van Riet, J Kazungu & F Dehairs. 1994. Carbon, nitrogen contents and stable isotope abundance in mangrove leaves from an east African coastal lagoon (Kenya). *Aquatic Botany*, 47(2): 175–183.
- Robertson AI. 1998. Decomposition of mangrove leaf litter in tropical Australia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 116: 235–247.
- Robertson AI & PA Daniel. 1989. The influence of crabs on litter processing in high intertidal mangrove forests in tropical Australia. *Oecologia*, 78:191–198.
- Saenger P, D Gartside & S Funge-Smith. 2012. *A Review of Mangrove and Seagrass Ecosystems and Their Linkage to Fisheries and Fisheries Management*. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand. 74 pp.
- Sukardjo S, DM Alongi & C Kusmana. 2013. Rapid litter production and accumulation in Bornean mangrove forests. *Ecosphere*, 4(7): 1–7.
- Sukardjo S & I Yamada. 1992. Biomass and productivity of a *Rhizophora mucronata* Lamarck plantation in Tritih, Central Java, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 49: 195–209.
- Tran P. 2014. Allometry, biomass and litter decomposition of the New Zealand mangrove *Avicennia marina* var. *australasica*. Thesis. Auckland University of Technology. Auckland. 73 pp.
- Vilarrubia TV. 2000. Zonation pattern of an isolated mangrove community at Playa Medina, Venezuela. *Wetlands Ecology and Management*, 8: 9–17.