

DINAMIKA KONDISI STRUKTUR KOMUNITAS VEGETASI DAN KUALITAS FISIKA-KIMIA LINGKUNGAN DI KAWASAN HUTAN MANGROVE KOTA SEMARANG

DYNAMICS OF VEGETATION COMMUNITY STRUCTURE AND ENVIRONMENT PHYSICAL-CHEMICAL QUALITY CONDITION AT MANGROVE FOREST OF SEMARANG

Endah Dwi Hastuti¹⁾, Sutrisno Anggoro²⁾, dan Rudhi Pribadi³⁾

¹⁾Program Doktor Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro

^{2,3)}Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jalan Soedarto, Tembalang, Semarang

Email: ¹⁾Endah_pdil@yahoo.com; ²⁾sutrisno.anggoro@yahoo.co.id; ³⁾rudhi_pribadi@yahoo.co.uk

diterima 2 Desember 2011, diterima setelah perbaikan 23 Januari 2013

disetujui untuk diterbitkan 25 Januari 2013

Abstrak: Vegetasi mangrove merupakan jenis vegetasi yang rentan terhadap tekanan baik dari daratan maupun dari laut. Tekanan tersebut berdampak pada kelimpahan dan struktur komunitas vegetasi dalam ekosistem mangrove. Faktor lain yang berkaitan erat dengan ekosistem mangrove adalah kondisi fisika-kimia seperti suhu, tekstur sedimen, pH, salinitas, DO, N, P dan bahan organik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur komunitas vegetasi hutan mangrove di Kota Semarang serta kondisi fisika-kimia lingkungannya. Metode penelitian yang digunakan adalah survey eksperimental. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa struktur komunitas vegetasi hutan mangrove bervariasi pada strata tegak lurus dengan garis pantai. Hasil analisis indeks keanekaragaman menunjukkan indeks keanekaragaman stasiun A, B dan C masing-masing sebesar 0,854; 1,192; dan 1,370 untuk strata sapling dan 0,599; 0,966; dan 1,501 untuk strata pohon. Sementara koefisien keseragamannya yaitu 0,778; 0,860; dan 0,851 untuk strata sapling dan 0,546; 0,697; dan 0,838 untuk strata pohon. Sementara hasil pengukuran parameter fisika-kimia menunjukkan suhu sebesar 28,9 °C; 30,8 °C; dan 31,2 °C; substrat pasir 22,51%; 22,93%; dan 92,5%; pH 5,8; 6,2; dan 6,9; DO 0,8 mg/L; 2,3 mg/L; dan 5,9 mg/L; N 0,307%; 0,517%; dan 0,540%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kondisi parameter fisika-kimia lingkungan secara signifikan berbeda pada kondisi vegetasi mangrove yang berbeda.

Kata kunci: mangrove, vegetasi, dan struktur komunitas.

Abstract: Mangrove vegetation is the type of vegetation susceptible to pressure from both the mainland and from the sea. These pressures impact on the abundance and vegetation community structures in mangrove ecosystem. Another factor closely associated with the mangrove ecosystem is a physico-chemical conditions such as temperature, sediment texture, pH, salinity, DO, N, P and organic matter. This study aims to determine the vegetation community structures of mangrove forest in Semarang and the following physico-chemical conditions of its environment. The research method used was an experimental survey. Observations indicate that the structure of mangrove forest vegetation communities vary in strata perpendicular to the coastline. Results of analysis showed the diversity index of stations A, B and C was 0,854; 1,192; and 1,370 for sapling and 0,599; 0,966; and 1,501 for tree. While the evenness index of 0,778; 0,860; and 0,851 for the strata and the sapling 0,546; 0,697, and 0,838 for the tree strata. Measurements of physical-chemical parameters showed temperatures of 28,9 °C; 30,8 °C; and 31,2 °C; sand 22,51%; 22,93%; and 92,5%; pH 5,8; 6,2; and 6,9; DO 0,8 mg/L; 2,3 mg/L; and 5,9 mg/L; N 0,307%; 0,517%; and 0,540% respectively. These conditions indicate the physico-chemical conditions of environmental are significantly different at different conditions of mangrove vegetation.

Keywords: mangrove, vegetation, and community structure.

PENDAHULUAN

Mangrove merupakan ekosistem perairan pantai yang sangat penting peranannya baik bagi ekosistem perairan maupun ekosistem darat. Mangrove seringkali disebut sebagai ekosistem penyangga antara ekosistem darat dan ekosistem laut.

Kondisi ekosistem mangrove sangat bervariasi antara satu daerah dengan daerah lain. Berbagai faktor yang menyebabkan perbedaan kondisi tersebut adalah adanya perbedaan kondisi hidrooseanografi perairan serta tingkat aktivitas dari daratan. Bandaranayake (1998) menyebutkan bahwa komposisi dan struktur vegetasi mangrove berbeda-beda, secara spasial maupun temporal akibat pengaruh geofisik, geografi, geologi, hidrografi, biogeografi, iklim, faktor edafik dan kondisi lingkungan lainnya. Struktur dan komposisi ekosistem mangrove dapat berubah-ubah akibat terjadinya perubahan fisik seperti pengeringan, pembangunan kanal dan pemakaian pupuk yang dapat mempengaruhi habitat mangrove (Tanaka, 1992).

Ekosistem mangrove di setiap tempat memiliki komposisi spesies tersendiri. Tekanan yang berlebihan terhadap kawasan hutan mangrove untuk berbagai kepentingan tanpa mengindahkan kaidah-kaidah pelestarian alam telah mengakibatkan terjadinya penurunan luas hutan mangrove yang cukup drastik. Ekosistem mangrove memiliki kemampuan tinggi untuk kembali terbentuk setelah kerusakan hebat selama pola hidrologi kembali stabil dan tersedia sumber propagul (Manassrisuksi *dkk.*, 2001).

Struktur dan komposisi vegetasi tumbuhan merupakan faktor penting yang mempengaruhi perpindahan aliran materi, energi dan keanekaragaman hayati (Dubayah *dkk.*, 1997).

METODE

Penelitian dilakukan pada kawasan ekosistem mangrove di Kota Semarang. Desain penelitian adalah survey eksperimental. Penelitian terdapat 2 kelompok struktur komunitas vegetasi hutan mangrove dengan 3 stasiun pengamatan. Data yang dikumpulkan meliputi struktur komunitas vegetasi hutan mangrove dan kualitas fisika-kimia lingkungannya.

Pengambilan data vegetasi dilakukan dengan metoda petak jalur (transek) berukuran

Nursal *dkk.*, (2005) menyebutkan bahwa struktur komunitas vegetasi ditentukan oleh kerapatan, dominansi, frekuensi dan keanekaragaman vegetasi. Setiap vegetasi menunjukkan bentuk pertumbuhan, ukuran dan bentuk tajuk, fungsi, ukuran dan tekstur daun yang berbeda-beda. Kerapatan, keanekaragaman dan bentuk vegetasi akan menghasilkan bentuk asosiasi dalam sistem perakaran dan tajuk yang akan menentukan perbedaan fungsi.

Kota Semarang merupakan salah satu kota dengan tingkat pembangunan yang tinggi, khususnya di kawasan pesisirnya. Aktivitas pembangunan ini tentunya berdampak pada kondisi hutan mangrove baik secara langsung maupun tidak langsung. Ekosistem mangrove di Kota Semarang secara berangsur mengalami penyusutan sebagai dampak dari pengembangan industri dan kependudukan serta pencemaran lingkungan.

Fungsi hutan mangrove meliputi fungsi hayati, fungsi fisik dan fungsi kimiawi. Hutan mangrove merupakan perangkap nutrisi dan bahan organik yang terbawa aliran sungai dan rawa. Dari semua nutrien yang ada, nitrogen dan fosfor merupakan dua unsur yang paling sering membatasi pertumbuhan produsen primer (Hauxwell *dkk.*, 2001). Berbagai parameter fisika-kimia perairan meliputi suhu, pH, salinitas, DO, N, P, BO dan tekstur tanah juga berkaitan dengan keberadaan vegetasi mangrove. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi struktur komunitas vegetasi hutan mangrove dan kondisi parameter fisika-kimia lingkungan di kawasan vegetasi hutan mangrove di Kota Semarang.

10 m x 100 m. Dalam setiap jalur dibuat unit-unit contoh untuk permudaan, yakni 5 m x 5 m untuk tingkat pancang dan 10 m x 10 m untuk pohon. Kriteria tingkat permudaan yang digunakan adalah: (a) pancang (sapling) adalah anakan pohon dengan diameter kurang dari 4 cm dan tinggi lebih dari 1 m, dan (b) pohon adalah pohon muda dan dewasa yang memiliki diameter 4 cm atau lebih. Pengambilan data di lapangan meliputi pencatatan nama jenis, jumlah jenis, jumlah individu. Data yang diperoleh dicatat dan

setiap spesies diidentifikasi berdasarkan *Handbook of Mangroves in Indonesia* (Kitamura dkk., 1997). Kualitas kimia lingkungan yang diamati dalam penelitian meliputi pH, salinitas, Nitrogen, Fosfat dan bahan organik (BO). Pengambilan sampel tanah dilakukan pada lokasi yang sama dengan pengamatan vegetasi. Sampel tanah diambil secara diagonal, kemudian dikompositkan, kemudian diambil 20 gram untuk dilakukan analisis laboratorium. Analisis sampel tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, Semarang.

Analisis data struktur komunitas vegetasi sempadan pantai dilakukan secara deskriptif. Analisis deskriptif dilakukan dengan tujuan untuk menggambarkan kondisi struktur komunitas vegetasi dari masing-masing stasiun pengamatan. Analisis data kualitas kimia lingkungan dilakukan dengan ANOVA. Uji ANOVA dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kualitas lingkungan pada masing-masing stasiun pengamatan. Stasiun pengambilan sampel yang ditentukan berdasarkan kondisi vegetasi yang diduga memiliki kondisi lingkungan vegetasi yang berbeda secara signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur komunitas vegetasi ekosistem hutan mangrove di Kota Semarang disajikan dalam bentuk kelimpahan, keanekaragaman dan keseragaman spesies. Vegetasi yang diamati

yaitu ekosistem mangrove strata pohon dan strata sapling. Hasil analisis struktur komunitas vegetasi secara rinci disajikan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Sebaran komunitas vegetasi pada lokasi penelitian.

Jenis Vegetasi	Kelimpahan Sapling (individu/Ha)			Kelimpahan Pohon (individu/Ha)		
	A	B	C	A	B	C
<i>Avicennia alba</i>	-	-	1.022	-	-	522
<i>Avicennia marina</i>	-	622	-	-	1.178	200
<i>Brugueira cylindrica</i>	-	89	311	-	33	144
<i>Rhizophora apiculata</i>	311	844	44	400	189	489
<i>Rhizophora mucronata</i>	444	-	800	2.800	1.144	1.622
<i>Rhizophora stylosa</i>	-	400	622	233	-	589
<i>Sonneratia casiolaris</i>	44	-	-	-	-	-
Total	800	1.956	2.800	3.433	2.544	3.567
H'	0,854	1,192	1,370	0,599	0,966	1,501
E	0,778	0,860	0,851	0,546	0,697	0,838

Keterangan: A = Stasiun A
B = Stasiun B
C = Stasiun C
H' = Indeks Keanekaragaman
E = Indeks Keseragaman

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada ekosistem hutan mangrove di Kota Semarang terdapat 7 spesies mangrove. Spesies-spesies tersebut yaitu *Avicennia alba*, *A. Marina*, *Brugueira cylindrical*, *Rhizophora apiculata*, *R. Mucronata*, *R. Stylosa* dan *Sonneratia casiolaris*. Tabel 1 menunjukkan bahwa Stasiun C merupakan stasiun dengan kemunculan jenis vegetasi yang paling banyak. Pada stasiun C ditemukan 6 spesies mangrove, baik pada strata

pohon maupun pancang, sedangkan jenis mangrove keseluruhan yang ditemukan di lokasi penelitian adalah 7 spesies. Sementara stasiun A merupakan stasiun dengan kemunculan jenis mangrove yang paling sedikit, dimana hanya terdapat 3 spesies mangrove baik pada strata pohon maupun pada strata sapling .

Dari hasil pengamatan tersebut, diketahui bahwa mangrove jenis *Rhizophora*, I khususnya *R. mucronata* merupakan jenis mangrove yang

memiliki kerapatan paling tinggi di lokasi penelitian. Jenis mangrove yang paling sering ditemukan yaitu *R. apiculata* dan *R. mucronata* dengan kelimpahan yang relatif melimpah, sedangkan *S. casiolearis* merupakan jenis mangrove yang paling jarang ditemukan. Dari ketiga stasiun pengamatan *S. casiolearis* hanya ditemukan pada stasiun A saja pada strata sapling dengan kelimpahan hanya 44 individu/ha. Selain *Rhizophora*, jenis mangrove lain yang cukup melimpah yaitu dari jenis *Avicennia*, khususnya *A. marina*. *B. cylindrica* ditemukan dengan kelimpahan yang relatif sedikit, namun hampir merata dimana dari tiga stasiun yang diamati, *B. cylindrica* terdapat di dua stasiun.

Hasil analisis indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman menunjukkan bahwa indeks keanekaragaman strata sapling berturut-turut adalah 0,854; 1,192; dan 1,370 masing-masing pada stasiun A, stasiun B dan stasiun C. Sedangkan pada strata pohon, indeks keanekaragaman dari masing-masing stasiun A, B dan C yaitu 0,599; 0,966; dan 1,501. Sementara indeks keseragaman dari masing-masing stasiun pada strata sapling yaitu 0,778; 0,860; dan 0,851 sedangkan pada strata pohon yaitu 0,546; 0,697; dan 0,838. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa stasiun C memiliki kondisi yang paling baik dibandingkan stasiun pengamatan yang lain.

Struktur komunitas vegetasi hutan mangrove di Kota Semarang menunjukkan keanekaragaman yang relatif rendah (indeks keanekaragaman kurang dari 1). Keanekaragaman sedang tercatat ditemukan pada stasiun B pada strata sapling dan stasiun C pada strata sapling dan pohon. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa hutan mangrove di Kota Semarang relatif kurang bervariasi. Sementara indeks keseragaman spesies menunjukkan kondisi yang cukup baik dimana dari seluruh stasiun pengamatan tercatat indeks keseragaman berkisar antara 0,546 – 0,860 (mendekati 1).

Perbedaan kelimpahan dan struktur komunitas vegetasi diduga disebabkan karena perbedaan kondisi ekologis dari masing-masing stasiun. Stasiun A merupakan stasiun yang berada paling jauh dari pantai. Sementara stasiun B merupakan stasiun yang berada mendekati pantai dan stasiun C merupakan stasiun yang berada di tepi pantai. Kondisi fisika-kimia lingkungan berkaitan erat dengan komunitas

vegetasi yang menghuninya. Dari data vegetasi pada tabel 1 nampak bahwa pada stasiun A tidak terdapat mangrove dari jenis *Avicennia* yang merupakan jenis mangrove perintis dan pada umumnya ditemukan pada daerah dengan salinitas yang relatif tinggi. Shan dkk. (2008) menyebutkan bahwa *A. marina* merupakan jenis mangrove yang memiliki toleransi terhadap kadar salinitas yang tinggi. Sedangkan mangrove jenis *Rhizophora* dapat ditemukan hampir di setiap stasiun pengamatan. Hal ini diduga disebabkan karena tekstur sedimen di lokasi pengamatan didominasi oleh lumpur liat. Aksornkoe (1993) menyatakan bahwa spesies mangrove *Rhizophora* dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang relatif dalam dan berlumpur.

Suksesi yang terjadi di dalam hutan mangrove sangat aktif. Arus pasang surut memungkinkan masuknya sedimen dan invasi berbagai spesies dari berbagai lokasi, dengan tingkat adaptasi yang berbeda-beda. Perubahan lingkungan fisik di dalam hutan mangrove seperti pengeringan, pembangunan kanal-kanal air dan pemakaian pupuk dalam pengelolaan tambak, menyebabkan perubahan habitat mangrove (Tanaka, 1992). Perubahan habitat mangrove tersebut juga akan mengakibatkan komposisi dan struktur vegetasi hutan ini dapat berubah-ubah. Deposisi sedimen dalam jumlah banyak juga dapat mempengaruhi ketinggian tanah, sehingga mempengaruhi distribusi dan komposisi tumbuhan mangrove (Callaway dan Zedler, 1998).

Variasi ketersediaan sumberdaya beserta perbedaan kemampuan antar spesies anak pohon dalam menggunakannya dapat mempengaruhi komposisi dan struktur vegetasi hutan (Latham, 1992; Pacala dkk., 1996). Perbedaan kemampuan antara spesies anakan pohon dalam mentoleransi naungan mempengaruhi dinamika hutan (Finzi dan Canham, 2000). Pada kondisi cahaya rendah, perbedaan kecil dalam pertumbuhan pohon muda dapat menyebabkan perbedaan mortalitas yang besar (Kobe dkk., 1995), sehingga mempengaruhi kemelimpahan relatifnya (Pacala dkk., 1996).

Sementara pengamatan kondisi fisika-kimia lingkungan hutan mangrove menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada beberapa parameter. Gambaran kondisi fisika-kimia lingkungan hutan mangrove secara rinci dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Kondisi parameter fisika lingkungan ekosistem Hutan Mangrove.

Lokasi	Suhu	Pasir	Lempung
Stasiun A	28,9 ^a	22,51 ^a	17,45 ^a
Stasiun B	30,8 ^b	22,93 ^a	19,02 ^a
Stasiun C	31,2 ^b	92,52 ^b	0,00 ^a

Keterangan: huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada taraf kesalahan 5%

Tabel 3. Kondisi parameter kimia lingkungan ekosistem Hutan Mangrove.

Lokasi	pH	Salinitas	DO	N (%)	P (mg/kg)	BO (%)
Stasiun A	5,8 ^a	29,3 ^a	0,8 ^a	0,307 ^b	23,495 ^a	14,65 ^a
Stasiun B	6,2 ^b	28,8 ^a	2,3 ^b	0,517 ^a	18,928 ^a	14,49 ^a
Stasiun C	6,9 ^c	29,2 ^a	5,9 ^c	0,540 ^a	15,583 ^a	13,25 ^a

Keterangan: huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada taraf kesalahan 5%

Tabel 2 dan tabel 3 menunjukkan bahwa secara umum, terdapat perbedaan yang signifikan antara stasiun pengamatan di kawasan hutan mangrove Kota Semarang. Hasil pengamatan terhadap suhu lingkungan tercatat suhu di stasiun A sebesar 28,9 °C, stasiun B 30,8 °C dan stasiun C 31,2 °C. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan suhu yang signifikan antara stasiun B dan C sedangkan antara stasiun A dan B dan stasiun A dan C terdapat perbedaan yang signifikan. Sementara pengamatan terhadap kandungan pasir di pada masing-masing lokasi menunjukkan pada stasiun A terdapat 22,51% pasir, stasiun B 22,93% dan stasiun C 92,5%. Dari uji ANOVA yang dilakukan menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan kandungan pasir yang signifikan antara stasiun A dan B. Sedangkan kandungan lempung pada lokasi pengamatan menunjukkan nilai sebesar 17,45% pada stasiun A, 19,02% pada stasiun B dan 0,00% pada stasiun C. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan kandungan pada masing-masing stasiun.

Pengamatan suhu pada tabel 2 di atas menunjukkan bahwa lokasi yang mendekati pantai memiliki suhu yang relatif lebih tinggi dibandingkan lokasi yang lebih dekat dengan daratan. Beberapa faktor yang diduga mempengaruhi tingginya suhu lingkungan tersebut adalah karena tingkat kerapatan mangrove yang tinggi. Kerapatan kanopi mangrove menyebabkan suhu dalam lingkungan

mangrove tidak dapat dilepaskan ke udara, sehingga tertahan di dalam lingkungan ekosistem tersebut. Penelitian Fauziah dkk. (2004) menunjukkan kondisi yang sama dimana pada kelimpahan mangrove yang tinggi memiliki suhu lingkungan yang relatif tinggi juga.

Tekstur sedimen menunjukkan bahwa kandungan pasir semakin meningkat pada lokasi yang mendekati pantai. Hal ini berkaitan dengan fungsi mangrove sebagai sediment trap dimana sedimen berupa pasir lebih banyak bersumber dari limpasan gelombang dan pasang surut air laut. Sementara di stasiun yang lebih dekat dengan daratan kandungan lumpur dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan stasiun yang lebih dekat dengan pantai. Berbagai aktifitas di daratan seperti pertanian, tambak, industri dan pemukiman diduga merupakan faktor yang mempengaruhi komposisi sedimen tersebut. Sistem perakaran mangrove berperan dalam menangkap sedimen dan membersihkan zat-zat pencemar. Kanopi dapat mengatur suhu, kelembaban udara, meredam energi gelombang dan angin sehingga dapat menahan abrasi dan akresi. Vegetasi mangrove menyumbang seresah sebagai penghasil bahan organik dan meningkatkan kesuburan perairan pantai. Beberapa parameter yang secara signifikan dipengaruhi oleh struktur komunitas hutan mangrove adalah kualitas kimia lingkungan. Perbedaan pemanfaatan lahan juga akan mempengaruhi kualitas lingkungan. Struktur komunitas vegetasi juga mempengaruhi kondisi

kualitas lingkungan atmosfer dan hidrologis (Mazda *dkk.*, 2007; Saparinto, 2007).

Sementara pengamatan terhadap kondisi kimia lingkungan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pH perairan yang signifikan antar stasiun. Hasil pengamatan menunjukkan nilai pH pada masing-masing stasiun yaitu 5,8; 6,2; dan 6,9. Sementara kondisi salinitas menunjukkan bahwa antara stasiun A, B dan C tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Kandungan salinitas lingkungan hutan mangrove berturut-turut adalah 29,3‰; 28,8‰ dan 29,2‰. Kondisi DO perairan juga menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara masing-masing stasiun. Kandungan DO pada masing-masing stasiun pengamatan tercatat sebesar 0,8 mg/L (stasiun A); 2,3 mg/L (stasiun B); dan 5,9 mg/L (stasiun C).

Keasaman (pH) di lingkungan ekosistem hutan mangrove berkaitan dengan proses dekomposisi serasah dan bahan organik yang ada di dalamnya. Pada lingkungan ekosistem hutan mangrove yang memiliki kerapatan tinggi, pada umumnya memiliki tingkat keasaman yang tinggi pula. Rendahnya pH lingkungan hutan mangrove menunjukkan bahwa lingkungan ekosistem hutan mangrove relatif bersifat asam. Kondisi keasaman ini disebabkan karena tingginya proses dekomposisi bahan organik secara anaerob yang menghasilkan asam-asam organik oleh bakteri (Widawati, 1996).

Salinitas lingkungan menunjukkan kondisi yang relatif sama antar stasiun A, B dan C. Kondisi ini diduga disebabkan karena kelimpahan vegetasi mangrove semakin rendah dari pantai ke arah darat. Suryawan (2007) menyebutkan bahwa salah satu peranan manfaat hutan mangrove adalah sebagai penahan intrusi air laut. Kisaran salinitas yang relatif seragam dari arah pantai ke darat diduga karena tahanan intrusi air laut semakin berkurang sebagai akibat dari menurunnya kelimpahan mangrove di lokasi pengamatan.

Kandungan oksigen terlarut menunjukkan kisaran yang lebih tinggi pada lokasi dengan kelimpahan mangrove yang tinggi. Kandungan oksigen terlarut pada stasiun A sangat rendah diduga berkaitan dengan tingkat pencemaran dari daratan yang relatif tinggi serta rendahnya kelimpahan vegetasi mangrove pada lokasi tersebut. Kathiresan dan Bingham (2001) menyebutkan bahwa akar mangrove memiliki peranan penting dalam pertukaran gas pada lingkungan anaerobik. Bengen (2001) menyatakan bahwa mangrove memiliki bentuk

perakaran yang khas sebagai bentuk adaptasi pada lingkungan dengan kandungan oksigen yang rendah.

Parameter kimia lain yang diamati yaitu kandungan N. Hasil uji ANOVA kandungan N menunjukkan bahwa perbedaan kandungan N yang signifikan terdapat antara stasiun A dan B serta antara stasiun A dan C, sedangkan antar stasiun B dan C tidak. Kandungan N dari hasil pengamatan tercatat yaitu 0,307% (stasiun A); 0,517% (stasiun B); dan 0,540% (stasiun C). Sementara kandungan P pada masing-masing stasiun tercatat sebesar 23,495 mg/kg; 18,92 mg/kg; dan 15,583 mg/kg. Uji ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan kandungan P yang signifikan antara stasiun satu dengan stasiun yang lain. Hasil pengamatan terhadap kandungan BO menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar masing-masing stasiun pengamatan. Hasil pengamatan menunjukkan kandungan BO sebesar 14,65%; 14,49%; dan 13,25% masing-masing untuk stasiun A, B dan C.

Daun mangrove merupakan sumber bahan organik yang sangat penting dalam penyediaan unsur hara melalui proses dekomposisi oleh peran aktif organisme. Beberapa jenis daun mangrove sangat sulit mengalami dekomposisi karena adanya kandungan unsur kimia di dalam daun. Diketahui beberapa bakteri fotosintesis memainkan peranan dalam ekosistem mangrove melalui proses fotosintesis, fiksasi nitrogen, metanogenesis, produksi enzim dan penghasil antibiotik (Lyla dan Ajmal, 2006). Bakteri merupakan penentu dalam siklus nitrogen pada lingkungan mangrove. *Cyanobacteria* laut adalah komponen mikrobiota penting yang berperan dalam penyusunan sumber nitrogen pada ekosistem mangrove (Kathiresan dan Bingham, 2001). Aktivitas bakteri pada bahan organik adalah memineralisasi dan juga memisahkan karbon organik menjadi bentuk biomassa bakteri (Boulton dan Boon, 1991).

Bahan organik mengalami penghancuran oleh fauna hutan mangrove dan selanjutnya proses dekomposisi oleh jasad renik menjadi berbagai senyawa yang lebih sederhana. Daun mangrove merupakan sumber zat hara bagi lingkungannya. Arief (2003) menyebutkan bahwa daun *A. marina* mengandung unsur hara karbon 47,93, nitrogen 0,35, fosfor 0,083, kalium 0,81, kalsium 0,30 dan magnesium 0,49. Unsur hara tersebut dapat terurai menjadi sumber nutrisi melalui proses dekomposisi oleh bakteri. Sementara daun *R. mucronata* mengandung

unsur hara karbon 50,83, nitrogen 0,83, fosfor 0,025, kalium 0,35, kalsium 0,75 dan magnesium 0,86.

Keberagaman dinamika bahan organik terbentuk oleh adanya aktivitas tanaman, termasuk pertumbuhan dan kematian terhadap spesies tanaman yang berpengaruh, serta menghasilkan fluktuasi kondisi fisika secara temporal maupun spasial di dasar hutan (Burghouts dkk., 1998). Kandungan bahan organik pada lahan mangrove lebih tinggi dibandingkan lahan lain. Hal ini dikarenakan adanya dekomposisi dari sisa tanaman dan hewan yang ada di kawasan mangrove. Escourt (1967), Anderson (1977) dan Mayer dkk. (1985) menyebutkan bahwa karbon organik berkaitan dengan prosentase lumpur dalam tanah. Ferreira dkk. (2007) menyebutkan bahwa dekomposisi bahan organik pada lahan mangrove sangat dipengaruhi oleh frekuensi, lama perendaman dan distribusi ukuran partikel substratnya. Bersama dengan nutrisi yang dibawa sungai, bahan tersebut diserap oleh tumbuh-tumbuhan (Suwelo dan Manan, 1986).

Setiap jenis mangrove memiliki kandungan bahan organik yang berbeda-beda. Hasil penelitian Fernando dan Bandeira (2009) menyebutkan bahwa *A. marina* memproduksi lebih banyak serasah dibandingkan *R. mucronata*, serta produksi guguran daun lebih banyak pada musim kemarau daripada hujan basah. Hasil penelitian tersebut juga menyebutkan bahwa dekomposisi daun *A. marina* lebih cepat dibandingkan dekomposisi daun *R. mucronata*. Dengan asumsi tersebut, maka kandungan Nitrogen yang lebih tinggi pada stasiun B dan C diduga disebabkan oleh tingginya guguran daun *A. marina* yang menjadi serasah dan terurai menjadi mineral anorganik nitrogen. Sedangkan tingginya P di stasiun A mungkin lebih banyak dipengaruhi oleh P dari aktifitas antropogenik di hulu.

Steinke dkk. (1983) menyatakan kandungan unsur hara N disebabkan oleh kemampuan bakteri nitrogen pada serasah daun mangrove untuk melakukan fiksasi nitrogen. Menurut Crawford dan Rosenberg (1984) laju dekomposisi tergantung pada proses pencucian dari senyawa yang terdapat dalam substrat, aktivitas bakteri, fungi, dan penghancuran serasah oleh makro invertebrata. Bentuk N sangat bervariasi pada air yang mengalir (Wiebe dkk., 1975). Sumber N yang berasal dari fiksasi N di payau berasal dari bakteri *Calothria crustacea*. Fiksasi N juga ditemukan pada bakteri

anaerobik *Thalassia* dan makro alga serta *coral rubble* (Patriquin, 1972; Goering dan Parker, 1972). Selain itu bakteri-bakteri terumbu (*reef bacteria*) penting untuk melakukan fiksasi N (Sorokin, 1978).

Menurut Ito dan Nakagiri (1997) tanah hutan mangrove di daerah tropis dan subtropis bersifat semi aerobik, rendahnya kandungan unsur hara, memiliki konsentrasi logam berat yang tinggi dan salinitasnya lebih tinggi dibanding dengan tanah teresterial. Serasah daun yang banyak kandungan nitrogen dan fosfor mengalami pelapukan dengan cepat tanpa penambahan unsur hara, terutama pada keadaan aerobik.

Tingginya produksi daun dan serasah, serta cepatnya laju penguraian detritus menyebabkan hutan mangrove menjadi salah satu ekosistem yang paling produktif dan mendukung berbagai kehidupan liar dengan kelimpahan tinggi (Aksornkoae, 1986; Ong, 1995). Sekitar 30-60% total produksi primer ekosistem mangrove adalah serasah (Bunt dkk., 1979). Serasah daun sangat penting dalam menjaga rantai makanan yang berbasis detritus (Ong dkk., 1984; Lee, 1995). Sifat kimia detritus mangrove berubah selama dekomposisi dan penuaan (Rice dan Tenore, 1981). Dedaunan yang jatuh ke dalam air akan segera mengalami penguraian bahan organik, termasuk karbon organik, nitrogen organik, dan tanin (Newell dkk., 1984; Robertson, 1988; Steinke dkk., 1993a, b).

Karbon bersama-sama dengan unsur lainnya seperti fosfor (P) dan nitrogen (N) menghasilkan jaringan tumbuh-tumbuhan yang menjadi makanan hewan. Keduanya menghasilkan zat organik, jika mati dan membusuk dihasilkan bahan mentah untuk memulai daur bahan organik (Romimohtarto dan Juwana, 2001). Unsur hara N tidak mempunyai hubungan tetap dengan unsur hara P, tetapi bersama-sama dengan C, N dan P, merupakan unsur-unsur utama dalam produksi zat organik. Walaupun unsur hara C terdapat dalam jumlah yang banyak, tetapi kedua unsur hara N dan P menjadi faktor pembatas dalam daur bahan organik di laut (Darjamuni, 2003).

Peningkatan nutrisi antropogenik dalam jumlah besar dapat mempengaruhi komposisi dan kelimpahan produsen primer, sehingga berdampak pada siklus biogeokimia nutrisi secara keseluruhan (Worm dkk., 2000). Tumbuhan mangrove sangat penting dalam penyempurnaan nutrisi dan partikulat di kawasan

pantai, karena dapat memperlambat arus, memperkuat deposisi dan menyerap nutrisi (Levin dkk., 2001). Keragaman spesies yang tinggi dapat membantu keberlanjutan produktivitas melalui stabilisasi komunitas dalam berbagai kondisi lingkungan (McNaughton, 1993). Peningkatan pembuangan limbah di sungai yang dikombinasikan dengan peningkatan konsentrasi nutrisi dalam sungai menyebabkan meningkatnya nutrisi di kawasan muara (Wosten dkk., 2003). Proses biogeokimia pada sedimen di kawasan muara sangat bervariasi tergantung beberapa faktor, seperti: sumber bahan organik dari laut dan darat, variasi salinitas, proses remineralisasi sediment anoksik, adanya makrofauna bentos, dan kondisi redoks sedimen (Burdige, 2001), sehingga status nutrisi dapat bervariasi antar tempat.

Di dalam proses dekomposisi serasah daun mangrove di perairan, kehadiran bakteri dan fungi juga menyebabkan proses penguraian berlangsung cepat (Chale, 1993). Berbagai spesies dari genus bakteri seperti *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Micrococcus* berperan penting dalam mekanisme pelarutan P. Kandungan fosfat anorganik terlarut yang ada di laut utamanya berupa ion dengan bentuk asam orthofosfat. Bakteri pelarut P mampu menghasilkan enzim fosfatase, fitase dan asam-asam organik hasil metabolisme seperti asetat, propionat, glikolat, fumarat, oksalat, suksinat dan tartarat, sitrat, laktat dan ketoglutarat (Saraswati dan Sumarno, 2008). Steinke dkk., (1983) menyatakan bahwa hilangnya kandungan unsur hara P pada serasah daun *A. marina* yang mengalami proses dekomposisi disebabkan karena proses penguraian. Peningkatan kandungan unsur hara P pada serasah daun *A. Marina* yang mengalami proses dekomposisi diduga disebabkan adanya peningkatan sedimen fosfor dari senyawa yang terbawa oleh arus pasang surut air sungai yang tertahan pada serasah daun. Menurut Chauvet (1987) peningkatan kandungan unsur hara P pada serasah daun mangrove di estuaria diduga disebabkan juga adanya peningkatan sedimen sungai.

KESIMPULAN

Struktur komunitas vegetasi hutan mangrove di Kota Semarang terdiri dari 7 spesies yaitu *Avicennia alba*, *A. Marina*, *Bruguiera*

Produksi serasah daun pada komunitas mangrove merupakan sumber bahan makanan yang penting bagi berbagai organisme termasuk jenis avertebrata dan ikan yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Sungai dan laguna merupakan sumber utama sedimen dan fosfor bagi perairan. Setiap tahun, sekitar 22.109 mg materi terbawa ke tepi daratan melalui sungai (Garrels dan MacKenzie, 1971). Nutrien yang dihasilkan produser primer hutan mangrove dilepaskan ke komunitas dalam bentuk detritus melalui peruraian serasah daun dan kayu. Dapat pula melalui perumputan yang dilakukan herbivora sehingga terjadi pemindahan energi. Nutrien ekosistem mangrove tidak hanya dihasilkan oleh ekosistem itu sendiri (autochthonous), tetapi juga dari sungai atau laut di luar ekosistem (allochthonous). Hujan secara teratur menyapu detritus dari tepian pantai dan daerah aliran sungai ke dalam mangrove. Pada saat pasang naik, laut membawa bahan organik atau mikroorganisme tersuspensi ke ekosistem mangrove. Bersama dengan surutnya air laut, mikroorganisme ini tersaring oleh tanah. Sebaliknya pada saat surut nutrisi dari daratan pantai juga terbawa ke laut (Ng dan Sivasothi, 2001; Lovelock, 1993).

Secara alamiah nutrisi terdapat di alam dan mendukung terbentuknya ekosistem yang subur, namun aktivitas manusia dapat meningkatkan masukan nutrisi hingga tingkat yang tidak diinginkan (Hauxwell dkk., 2001). Aktivitas manusia dapat meningkatkan jumlah nitrogen dan fosfor, serta mempengaruhi siklus biogeokimianya (Schlesinger, 1991; Vitousek dkk., 1997a, b). Kelebihan nutrisi ini memasuki ekosistem muara dan perairan pantai melalui sungai, air tanah, dan transpor udara (Howarth dkk., 1996; Nixon dkk., 1996). Kesehatan ekosistem pantai sangat terancam akibat berlebihnya nutrisi ini (eutrofikasi) (Hauxwell dkk., 2001). Nutrien pada ekosistem mangrove tidak hanya dihasilkan oleh ekosistem itu sendiri (autochthonous), tetapi juga berasal dari sungai atau laut di sekitarnya (allochthonous) (Ng dan Sivasothi, 2001; Lovelock, 1993).

cylindrical, *Rhizophora apiculata*, *R. Mucronata*, *R. Stylosa* dan *Sonneratia casiolaris*. Jenis mangrove yang memiliki kelimpahan paling

tinggi yaitu *Rhizophora*. Indeks keanekaragaman dan keseragaman vegetasi menunjukkan kondisi antara rendah hingga sedang. Keanekaragaman mangrove sedang ditemui pada stasiun B dan C yang lokasinya berdekatan dengan pantai. Spesies mangrove yang paling sedikit ditemui yaitu *S. casiolaris* yang hanya ditemukan pada strata sapling saja. Pengamatan terhadap kualitas fisika-kimia lingkungan yang meliputi suhu, tekstur sedimen, pH, salinitas, DO, N, P, dan BO menunjukkan bahwa secara umum terdapat perbedaan yang signifikan kondisi parameter

fisika-kimia lingkungan di Kota Semarang. Beberapa parameter kimia tidak berbeda secara signifikan yaitu salinitas, P, dan BO. Perbedaan kondisi fisika-kimia lingkungan ekosistem hutan mangrove tersebut diduga disebabkan karena adanya perbedaan kelimpahan dan struktur vegetasi antara satu stasiun dengan stasiun lain. Kondisi tersebut juga berkaitan dengan fungsi mangrove yang diantaranya yaitu sebagai sediment trap, penahan intrusi air laut, penghasil bahan organik dan hara tanah.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih saya sampaikan pada penyandang dana Hibah Penelitian Disertasi

Doktor dan semua mahasiswa yang terlibat dalam pelaksanaan penelitian di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksornkoe, Sanit. Ecology and Management of Mangrove. Bangkok: IUCN, 1993.
- Aksornkoe, Sanit. "Mangrove Ecosystem General Background. in: Training Course on Life History of Selected Species of Flora and Fauna in Mangrove Ecosystems." Bangkok: UNDP/UNESCO Regional Project. (1986)
- Anderson, Sheila S. "The Ecology of Morecambe Bay II, Intertidal Invertebrates and Factors Affecting Their Distribution." J. Applied Ecology 9 (1972): 161-178.
- Bandaranayake, Wickramasinghe M. "Traditional and Medicinal Uses of Mangroves." Mangrove and Salt Marshes 2 (1998): 133-148.
- Bunt, J. S., K. G. Boto, and G. Boto. "A Survey Method for Estimating Potential Levels of Mangrove Forest Primary Production." Marine Biology 52 (1979): 123-128.
- Burghouts, T. B. A., Van Straalen, N. M. and Bruijnzeel, L. A. "Spatial Heterogeneity of Element and Litter Turnover in A Bornean Rain Forest." Journal of Tropical Ecology 14 (1998): 477-505.
- Chale, F. M. M. "Degradation of Mangrove Leaf Litter Under Aerobic Conditions." Hydrobiologia 257 (1993): 177 - 183.
- Chauvet, Eric. "Changes in the Chemical Composition of Alder, Poplar and Willow Leaves During Decomposition in A River." Hydrobiologia 148 (1987): 35 - 44.
- Dubayah, R., J. B. Blair, J. L. Bufton, D. B. Clark, J. Jaja, R. Knox, S. Luthcke, S. Prince and J. Weishampel. The Vegetation Canopy Lidar Mission, Land Satellite Information in The Next Decade II: Sources and Applications. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Proceedings, Wahington D. C., 1997.
- Fauziah, Y., Nursal dan Supriyanti. "Struktur dan Penyebaran Vegetasi Strata Sapling di Kawasan Hutan Mangrove Pulau Bengkalis Kabupaten Riau." Jurnal Biogenesis 1, 1 (2004): 26 - 30.
- Ferreira, T. O., X. L. Otero, P. Vidal-Torrado and F. Macias. "Redox Processes in Mangrove Soils under *Rhizophora mangle* in Relation to Different Environmental Conditions." Soil Science Society of America Journal 71, 2 (2007): 484-491.
- Hauxwell, J., Charles Jacoby, Thomas K. Frazer and John Stevely. Nutrients and Florida's Coastal Waters: The Links between People, Increased Nutrients, and Changes to Coastal Aquatic Systems. Florida: Sea Grant, University of Florida, 2001.
- Howarth, R. W., G. Billen, D. Swaney, A. Townsend and N. Jaworski. "Regional Nitrogen Budgets and Riverine N and P Fluxes for The Drainages to The North Atlantic Ocean: Natural and Human Influences." Biogeochemistry 35 (1996): 75-139.
- Howarth, Robert W. "An Assessment of Human Influences on Fluxes of Nitrogen From The Terrestrial Landscape to The Estuaries and Continental Shelves of The North Atlantic Ocean." Nutrient Cycling in Agroecosystems 52 (1998): 213-223.
- Indonesia. Pusat Survey Sumber Daya Alam Laut. Peta Mangroves Indonesia. Jakarta: BAKOSURTANAL. 2009.

- Goering, J. J., dan P. L. Parker. "Nitrogen Fixation by Epiphytes on Sea Grasses." *Limnology and Oceanography* 17 (1972): 320 - 323.
- Jawa Tengah. Dinas Perikanan dan Kelautan. Executive Summary: Kajian Penanganan Garis Pantai di Pantura Jawa Tengah. 2009.
- Callaway, John C. and J. B. Zedler. "Tidal Wetland Sedimentation Impacts: Flood-Caused Bare Zones Sustained by Trampling And High Salinities." ASLO/ESA Joint Conference on the Land-Water Interface, St. Louis, 1998.
- Kathiresan, K., and B. L. Bingham. "Biology of Mangrove and Mangrove Ecosystems." Advances in Marine Biology 40 (2001): 81 - 251.
- Romimohtarto, K., dan Sri Juwana. Biologi Laut: Ilmu Pengetahuan tentang Biologi Laut. Jakarta: Penerbit Djambatan, 2001.
- Kitamura, S., C. Anwar, A. Chaniago and S. Baba. 1997. Handbook of Mangrove in Indonesia, Bali and Lombok. The Development of Sustainable Mangrove Management Project. Ministry of Forestry Indonesia and Japan International Cooperation Agency. Jakarta. 119 pp.
- Kobe, R. K., S. W. Pacala, J. A. Silander Jr., and C. D. Canham. "Juvenile Tree Survivorship As A Component of Shade Tolerance." Ecology Applied 5, 2 (1995): 517-532.
- Latham, Roger Earl. "Co-occurring Tree Species Change Rank in Seedling Performance with Resources Varied Experimentally." Ecology 73 (1992): 2129-2144.
- Lee, S. Y. "Mangrove Outwelling: A Review." Hydrobiologia 295 (1995): 203- 212.
- Levin, L. A., D. F. Boesch, A. Covich, C. Dahm, C. Erseus, K. C. Ewel, R. T. Kneib, A. Moldenke, M. A. Palmer, P. Snelgrove, D. Strayer, and J. M. Weslawski. "The Function of Marine Critical Transition Zones and The Importance of Sediment Biodiversity." Ecosystems 4 (2001): 430-451.
- Lovelock, Catherine. Field Guide to The Mangroves of Queensland. Queensland: Australian Institute of Marine Science, 1993.
- Manassrisuksu, K., M. Weir, and Y. A. Hussin. "Assesment of Mangrove Rehabilitation Programme Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Amphur Khlung, Chantaburi Province, Eastern Thailand." In 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, 2001.
- Mayer, L. M., P. T. Rahim, W. Gwerin, S. A. Macko, L. Walting and F. E. Anderson. "Biological and Granulometric Controls on Sedimentary Organic Matter of An Interidal Mud Flat." Estuary, Coast and Shelf Science 20 (1985): 491 -503.
- Mazda, Y., Wolanski, E. and Ridd, P. E. The Role of Physical Processes in Mangrove Environments. Manual for the Preservation and Utilization of Mangrove Ecosystem. Tokyo: Terrapub, 2007.
- McNaughton, S. J. "Biodiversity and Function of Grazing Ecosystems." In Biodiversity and Ecosystem Function. Ed. Ernst-Detlef Schulze and Harold A. Mooney. Berlin: Springer Verlag, 1993.
- Newell, S. Y., J. W. Fell, A. Statzell-Tallman, C. Miller, and R. Cefalu. "Carbon and Nitrogen Dynamics in Decomposing Leaves of Three Coastal Marine Vascular Plants of The Subtropics." Aquatic Botany 19 (1984): 183-192.
- Ng, Peter K. L. A Guide to Mangroves of Singapore. Volume 1: The Ecosystem and Plant Diversity and Volume 2: Animal Diversity. Ed. N. Sivasothi. Singapore: The Singapore Science Centre, 2001.
- Nga, Bui Tui. "Penaeus Monodon Post-Larvae and Their Interaction With Rhizophora Apiculata." Doctoral Thesis, Wageningen University, (2004)
- Nixon, S. W., J. W. Ammerman, L. P. Atkinson, V. M. Berounsky, G. Billen, W. C. Boicourt, W. R. Boynton, T. M. Church, D. M. Ditoro and R. Elmgren, *et al.* "The Fate of Nitrogen and Phosphorus At The Land-Sea Margin of The North Atlantic Ocean." Biogeochemistry 35 (1996): 141-180.
- Nursal, Yuslim Fauziah dan Ismiati. "Struktur dan Komposisi Vegetasi Mangrove Tanjung Sekodi Kabupaten Bengkalis Riau." Jurnal Biogenesis 2(1) (2005): 1-7.
- Ong, Jin-Eong. "The Ecology of Mangrove Conservation And Management." Hydrobiologia 295 (1995): 343-351.
- Ong, Jin-Eong. "The Hidden Costs of Mangrove Services: Use of Mangroves for Shrimp Aquaculture." In International Science Round Table for The Media, Bali Indonesia, Joint event of ICSU, IGBP, IHDP, WCRP, DIVERSITAS and START, Bali, 2002.
- Ong, Jin-Eong., W. K. Gong, C. H. Wong, and G. Dhanarajan. "Contribution of Aquatic Productivity in Managed Mangrove Ecosystem in Malaysia". Proceeding UNESCO: Asian Symposium on Mangrove Environment, Resources, and Management. Ed. E. Soepadmo, A.N. Rao, and D.J. Macintosh. Kuala Lumpur, 1984.
- Pacala, S. W., C. D. Canham, J. Saponara, J. A. Silander, R. K. Kobe, and E. Ribbens. "Forest Models Defined by Field Measurements II: Estimation, Error Analysis, and Dynamics." Ecology Monograph 66, 1 (1996): 1 - 44.
- Patriquin, D. G. "The Origin of Nitrogen and Phosphorus for Growth of the Marine

- Angiosperm *Thalassia testudinarum*.” Marine Biology 15 (1972): 35 - 46.
- Saraswati, R., dan Sumarno. “Pemanfaatan Mikroba Penyubur Tanah sebagai Komponen Teknologi Pertanian” dalam Iptek Tanaman Pangan. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman, 2008.
- Robertson, A. I. “Decomposition of Mangrove Leaf Litter in Tropical Australia.” Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 116 (1988): 235-247.
- Saparinto, Cahyo. Pendayagunaan Ekosistem Mangrove. Semarang: Effhar dan Dahara Prize, 2007.
- Schlesinger, William H. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. New York: Academic Press, 1991.
- Shan, L., Zhou RenChao, Dong SuiSui, and Shi SuHua. “Adaptation to Salinity in Mangroves: Implication on the Evolution of Salt-Tolerance.” Chinese Science Bulletin 53, 11 (2008): 1708-1715.
- Smith, S. V. “Phosphorus Versus Nitrogen Limitation in The Marine Environment.” Limnology and Oceanography 29 (1984): 1149-1160.
- Sorokin, Y. L. “Microbial Production in the Coral Reef Community.” Archiv für Hydrobiologie 83 (1978): 281 - 323.
- Steinke, T. D., G. Naidoo, and L. M. Charles. “Degradation of Mangrove Leaf Litter and Stein Tissues in Situ in Megeni Estuary, South Africa.” Ed. H. J. Teas. Task For Vegetation Science 8 (1983): 141 - 149.
- Stela, M. C. Fernando dan Salomão O. Bandeira. “Litter Fall and Decomposition of Mangrove Species *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata* in Maputo Bay, Mozambique.” Western Indian Ocean Journal of Marine Science 8, 2 (2009): 173 – 182.
- Suryawan, Feri. “Keanekaragaman Vegetasi Mangrove Pasca Tsunami di Kawasan Pesisir Timur Nagroe Aceh Darussalam.” Biodiversitas 8, 4 (2007): 262 – 265.
- T. Ito and A. Nakagiri. “Mycoflora of the Rhizospheres of Mangrove Trees.” IFO Research Communications 18 (1997): 40 - 44.
- Tanaka, Shosi. Bali Environment the Sustainable Mangrove Forest. Jakarta: Development of Sustainable Mangrove Management Project. 1992.
- Twilley, R. R., R. H. Chen, and T. Hargis. “Carbon Sinks in Mangrove Forests and Their Implications to The Carbon Budget of Tropical Coastal Ecosystems.” Water, Air and Soil Pollution 64 (1992): 265-288.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, and J. M. Melillo. “Human Domination of Earth’s Ecosystems.” Science 277 (1997): 494-499.
- Vitousek, P. M., J. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Schindler, W. H. Schlesinger, and G. D. Tilman. “Human Alteration of The Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences.” Ecological Applications 7 (1997): 737-750.
- Widawati, Emilia. “Kondisi Tumbuh Mangrove pada Tegakan yang Terpengaruh Sedimentasi dan pada Tegakan yang Belum Terpengaruh Sedimentasi di Segara Anakan, Cilacap, KPH Banyumas Barat.” Bogor: Fakultas Kehutanan IPB, (1996)
- Wiebe, W. J., R. E. Johannes, and K. L. Webb. “Nitrogen Fixation in Coral Water Production.” Science 188 (1975): 257 - 259.
- Worm, B., H. K. Lotze, and U. Sommer. “Coastal Food Web Structure, Carbon Storage and Nitrogen Retention Regulated by Consumer Pressure and Nutrien Loading.” Limnology and Oceanography 45 (2000): 339-349.
- Wosten, J. H. M., P. de Willigen, N. H. Tri, T. V. Lien, and S. V. Smith. “Nutrien Dynamics in Mangrove Areas of The Red River Estuary in Vietnam.” Estuary and Coastal Shelf Science 57 (2003): 65-72.

