

ALIRAN ENERGI PADA EKOSISTEM MANGROVE

oleh

Soeroyo¹⁾**ABSTRACT**

ENERGY FLOW IN THE MANGROVE ECOSYSTEM. *The flow of energy in mangrove forest, which is originated from photosynthetic process, proved to be specific chain for mangrove forest Litter fall forms one of the component in the chain which contribute food sources for the surrounding organisms. The following process is decomposition which terminate by producing nutrient that can be reutilized by the mangrove plants. The rate and amount of litter fall is influenced by climate, elevation, fertility and humidity of soil, density and basal area of plants, season, annual variations and age of the plants. Whilst, the decomposition rate is influenced by climate, quality of sources and activity of decomposing organisms.*

PENDAHULUAN

Mangrove merupakan hutan pantai yang tumbuh di daerah tropis dan subtropis. Daerah pertumbuhan mangrove merupakan suatu ekosistem yang spesifik, hal ini disebabkan adanya proses kehidupan biota (flora dan fauna) yang saling berkaitan, baik yang terdapat di daratan maupun di lautan (MARTOSUBROTO 1978). Mata rantai makanan yang terdapat pada ekosistem mangrove ini tidak terputus. Bunga, ranting dan daun mangrove yang jatuh ke perairan sebagian akan tenggelam atau terapung di perairan tersebut dan sebagian lagi akan terbawa oleh arus laut ke daerah lain. Menurut penelitian di Florida, Amerika Serikat, serasah (bunga, ranting, daun) yang dihasilkan oleh pohon-pohon mangrove merupakan landasan penting bagi produksi ikan di muara sungai dan daerah pantai. Zat organik yang berasal dari penguraian serasah hutan mangrove ikut menentukan kehidupan ikan dan invertebrata di sekitar tersebut.

Aliran energi yang terdapat pada ekosistem mangrove dipengaruhi oleh beberapa faktor fisik seperti sungai-sungai, pasang surut, aliran laut dan faktor-faktor biologi seperti produksi serasah dari tumbuhan yang jatuh dan dekomposisi, serta semua mekanisme yang mengatur kecepatan pemasukan, pengeluaran dan penyimpanan material organik dan anorganik. Faktor fisik ini membawa nutrien dan mineral-mineral ke dalam lingkungan mangrove yang secara aktif diabsorpsi oleh akar-akar dekat permukaan substrat dan juga oleh mikroflora dan mikrofauna. Mangrove seperti tumbuhan lainnya membutuhkan nutrien dan mineral untuk pertumbuhan. Secara umum arti dari pergerakan dan perpindahan materi dan energi dalam ekosistem mangrove yaitu mangrove menggunakan materi anorganik yang masuk ke lingkungan mangrove dan mengeluarkan material organik dalam bentuk runtutan tumbuhan (daun, bunga, ranting, dan lain-lain) yang dapat menyokong rantai makanan dekat pantai.

1). Balai Penelitian Biologi Laut, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi—LIPI, Jakarta.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan di Florida, Amerika Serikat, serasah yang berada di perairan sekitar hutan mangrove umumnya berasal dari pohon-pohon mangrove. Sebagian besar dari serasah ini akan terlarut dalam air sebagai material halus, sehingga sekitar 35% — 60% dari semua unsur hara yang terlarut dalam air di perairan dekat pantai diperkirakan berasal dari pohon mangrove. Hal ini memang belum dapat dibuktikan secara pasti. Walaupun luas perairan pantai hanya sekitar 10% dari luas lautan, namun para ahli berpendapat bahwa 90% dari produktivitas lautan, terdapat di perairan pantai. Sedangkan setengah dari luas lautan hanya memiliki produktivitas sebesar 0,1%'. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan dalam suatu hutan mangrove di Florida tersebut memberikan petunjuk betapa pentingnya serasah yang dihasilkan oleh pohon-pohon mangrove sebagai landasan bagi produksi ikan di muara sungai dan daerah pantai. Studi lain menunjukkan bahwa 80% dari ikan-ikan komersial yang tertangkap di beberapa perairan pantai, ternyata berhubungan erat dengan rantai makanan yang terdapat dalam ekosistem mangrove. Selanjutnya diperkirakan bahwa 70% dari siklus hidup udang dan ikan-ikan yang tertangkap di daerah estuaria berada di daerah mangrove. Sebagai contoh udang pada stadium juvenil juga terdapat di daerah estuaria, sedangkan *Metapenaeus bennetiae* menghabiskan seluruh hidupnya di daerah estuaria.

ENERGI DALAM EKOSISTEM MANGORVE

Seperti tumbuhan yang berklorofil lainnya, mangrove juga dapat mengadakan fotosintesis dengan bantuan energi yang berasal dari cahaya matahari. Dalam fotosintesis tersebut zat anorganik dirubah menjadi zat organik. Zat organik ini sangat berguna untuk pertumbuhan dan pembesaran biomassa tumbuhan. Sebagian biomassa yang berupa daun, bunga, buah, ranting, kulit

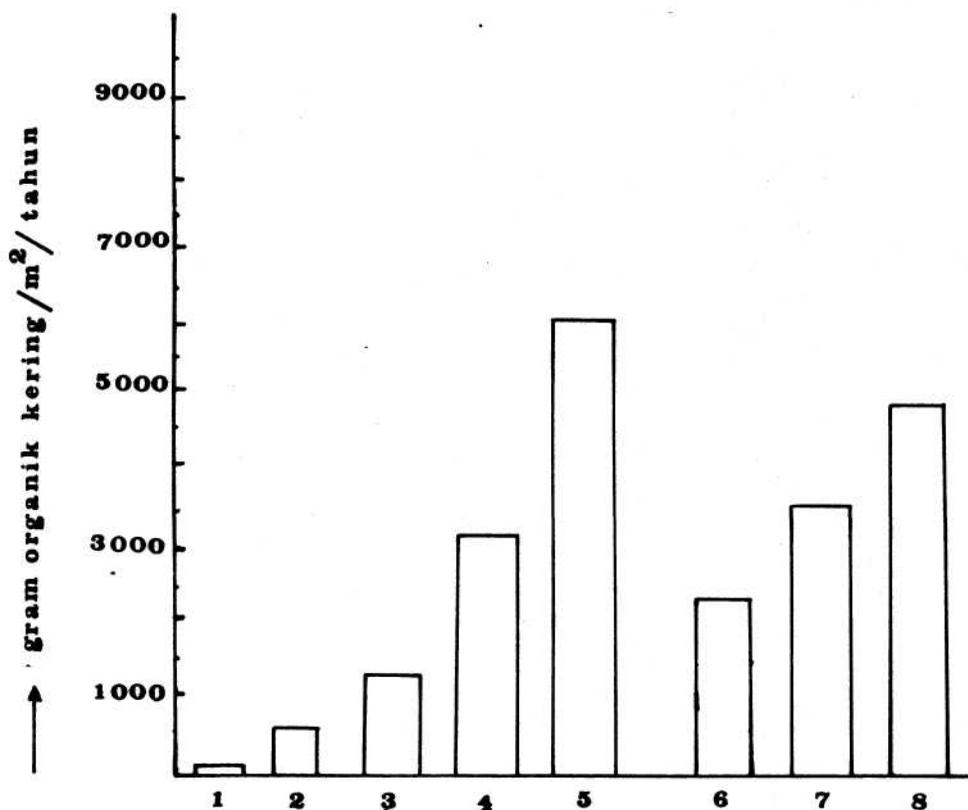
kayu dan lain-lain akan gugur dan jatuh ke dalam perairan. Biomassa ini akan diurai-kan oleh mikroorganisme menjadi zat organik yang sangat berguna bagi organisme perairan. Oleh karena itu mangrove merupakan salah satu penyumbang zat organik yang banyak bagi perairan di sekitarnya.

Mangrove dapat memberikan sumbangan zat organik yang banyak terhadap konsumen karena produktivitasnya yang tinggi. Nilai produktivitas hutan mangrove ini diperkirakan 20 kali lebih tinggi dari nilai produktivitas laut bebas dan sekitar 5 kali lebih tinggi dari nilai produktivitas perairan pantai. Gambar 1 menunjukkan bahwa dari delapan ekosistem alam, hanya dua ekosistem yang mempunyai nilai produktivitas lebih tinggi dari nilai produktivitas mangrove yaitu ekosistem hutan hujan tropis (6000 g material organik kering/m²/tahun) dan ekosistem terumbu karang (4900 g material organik kering/m²/tahun). Mangrove di daerah tropis terutama yang berdekatan dengan sungai-sungai, merupakan suatu daerah yang mempunyai nilai produktivitas sangat tinggi. Hal ini disebabkan jenis-jenis *Rhizophora* dapat hidup dan berkembang biak dengan baik di daerah tersebut. Secara umum besarnya produktivitas itu berkisar antara 2500 g — 3600 g bahan organik kering per m² per tahun (LEAR & TURNER 1977). Dalam lingkungan mangrove yang menjadi produser bahan organik tidak hanya pohon mangrove itu sendiri, tetapi juga meliputi epifit yang terdapat di akar-akar dan batang mangrove, permukaan tanah serta fitoplankton yang berada dalam perairan. Semua produser ini menyumbangkan materi organik atau reruntuhan tumbuhan. Materi-materi organik ini merupakan bahan makanan dasar yang tersedia bagi konsumen yang hidup dalam lingkungan mangrove.

Bagian terbesar dari reruntuhan mangrove merupakan bahan yang pokok untuk tempat berkumpulnya bakteri dan jamur. Kemudian bahan-bahan tersebut mengalami penguraian yang merupakan mata rantai makanan dari hewan-hewan laut. Bagian-bagian partikel

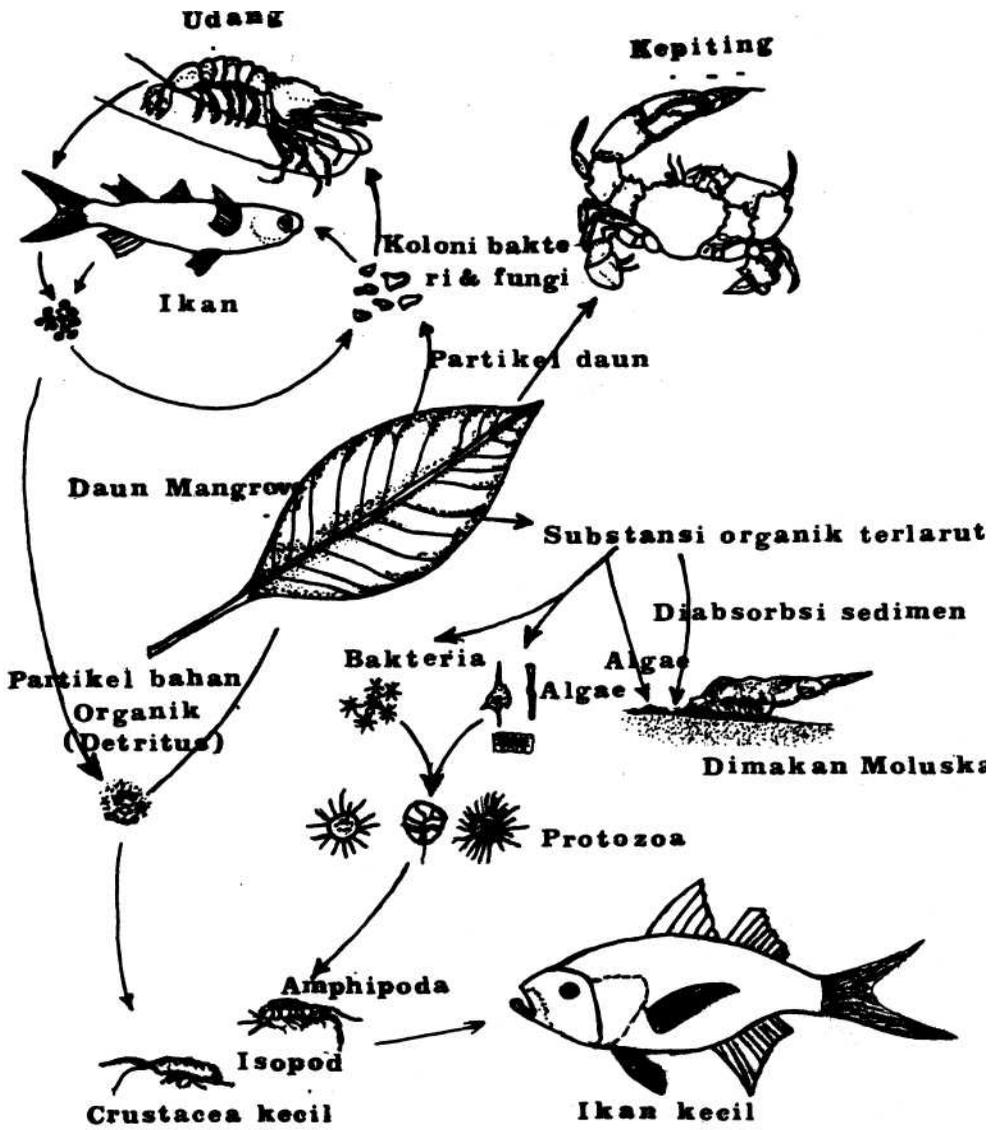
daun yang kaya akan protein ini dirombak oleh koloni-koloni bakteri dan seterusnya dimakan oleh ikan-ikan kecil. Perombakan partikel daun ini akan berlanjut terus sampai menjadi partikel-partikel yang berukuran sangat kecil (detritus) dan akhirnya dimakan oleh hewan-hewan pemakan detritus, seperti

moluska dan krustasea kecil. Selama perombakan ini substansi organik terlarut yang berasal dari reruntuhan mangrove sebagian dilepas sebagai mated yang berguna bagi fitoplankton dan sebagian lagi diabsorpsi oleh partikel sedimen yang menyokong rantai makanan (Gambar 2).



Gambar 1. Produktivitas netto dari ekosistem alam (LEAR & TURNER 1977).

- Keterangan :
1. Laut terbuka
 2. Perairan pantai yang kaya
 3. Hutan iklim sedang
 4. Padang rumput
 5. Hutan hujan
 6. Komunitas rumput laut
 7. Mangrove daerah tropis
 8. Terumbu karang



Gambar 2. Sumbangan material mangrove terhadap rantai makanan di estuaria (LEAR & TURNER 1977).

FAKTOR-FAKTOR YANG MEM-PENGARUHI LAJU GUGUR SERASAH DAN PROSES PENGURAIANNYA

Penguraian reruntuhan mangrove dalam perairan pantai menghasilkan nutrisi seperti nitrogen organik dan senyawa fosfat. Di Victoria, Australia materi yang berasal dari mangrove api-api (*Avicennia marina*) ternyata sangat kaya akan nutrisi tersebut, terutama senyawa fosfat. Peranan mangrove begitu aktif dan penting dalam memainkan daur nutrisi. Hal ini telah ditunjukkan dalam penelitian di Western Port Bay, daun-daun yang jatuh dan juga akar-akar selama satu tahun mempunyai kadar nitrogen sebanyak empat kali lipat dan fosfat setengahnya dari kadar nitrat dan fosfat dalam perairan di pantai itu sendiri. Sedangkan penguraian serasah mangrove menurut SWIFT *et al.* (1979), dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

1. **Alam dan komunitas pengurai** (binatang dan mikroorganisme), antara lain fungsi, bakteri dari binatang-bintang invertebrata. Gabungan dari aksi biota ini dalam proses penguraian serasah merupakan suatu mata rantai yang rumit sehingga sulit untuk ditelusuri. Tetapi secara sederhana dapat dikatakan bahwa hilangnya serasah dari dasar hutan itu terutama disebabkan oleh kegiatan binatang dan sifat alam itu sendiri. Hasil penelitian BROTONEGORO & ABDULKADIR (1978), menunjukkan bahwa penguraian seluruh daerah mangrove di Pulau Rambut memerlukan waktu sekitar 97 hari.
2. **Kualitas sumber.** Kecepatan penguraian serasah tergantung dari jenis serasah yang merupakan makanan bagi biota pengurai. Ketahanan serasah terhadap penguraian mungkin ditentukan oleh satu atau lebih sifat-sifat dasar serasah seperti kekerasan, banyaknya kandungan lignin, banyaknya zat hara campuran dari tumbuhan itu sendiri, dan ukuran dari massa dan partikelnya, yang mana semua ini tercakup dalam

kualitas sumber. Pada umumnya daun mempunyai kualitas sumber yang lebih tinggi dari pada ranting dan bahan kayu lainnya, dan penghancurannya juga lebih cepat dari pada ranting dan bahan kayu tersebut. Komponen-komponen kualitas sumber serasah sangat dipengaruhi oleh aktivitas dan jenis organisme pengurai serta faktor lingkungan. Sebagai contoh di sini adalah kayu yang umumnya susah mengalami penguraian di suatu tempat, akan mengalami proses penguraian yang lebih cepat bila di tempat itu terdapat aktivitas rayap.

3. **Faktor iklim.** Iklim merupakan faktor fisik lingkungan, yang terpenting di antaranya adalah faktor temperatur dan kelembaban tanah. Kelembaban tanah merupakan faktor terbesar yang menyebabkan variasi daerah di dalam kegiatan pengurai. Dalam penelitian MEENTEMEYER (dalam CRAAC 1964), menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang nyata antara serasah di hutan beriklim sedang dan di daerah tropis. Di daerah tropis dengan tingkat evaporasi 1500 mm laju penguraian serasah menjadi lima kali lebih cepat dibandingkan dengan di daerah sedang. Sedang PROCTOR (1983) menyatakan bahwa umumnya serasah terkumpul pada musim kering dan membusuk pada musim hujan.

Laju penguraian dari semua materi dipengaruhi oleh faktor alam dan komunitas pengurai, kualitas sumber dan iklim, meskipun kepentingannya dapat bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya dan dari sumber yarig satu ke sumber yang lain (daun, kayu, bunga dan lain-lain). Variasi-variasi ini saling berinteraksi, tetapi mungkin diperkirakan mempunyai satu struktur hirarkhi dalam hal mana mereka saling mempengaruhi satu sama lainnya. Dalam urutannya dapat digambarkan sebagai berikut, iklim makro (keadaan satu meter dari tanah ke atas) mempengaruhi iklim mikro (keadaan pada

permukaan tanah sampai tinggi satu meter). Iklim mikro dapat mempengaruhi kualitas sumber dan kualitas sumber dapat mempengaruhi pengurai.

Penelitian mengenai banyaknya gugur serasah dan penguraian serasah mangrove di Indonesia masih sedikit sekali dilakukan. Baru BROTONEGORO & ABDULKADIR (1978) mengadakan penelitian gugur serasah dan penguraiannya di Pulau Rambut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa banyaknya daun-daun yang jatuh di dasar hutan mangrove seluas satu meter persegi setiap hari berkisar antara 1,5 — 4,06 g berat kering atau rata-rata 2,34 g berat kering. Sedangkan bagian-bagian lain (ranting, cabang, bunga, buah dan lain-lain) sebanyak 5,75 g berat kering per meter persegi per hari.

Dari berbagai penelitian mengenai gugur serasah nampaknya terdapat perbedaan mengenai hasil yang diperoleh di masing-masing tempat (Tabel 1). Perbedaan ini disebabkan faktor-faktor yang mempengaruhi gugur

serasah di setiap tempat tidaklah sama. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi gugur serasah adalah sebagai berikut :

1. Iklim

Menurut CRACC (1964) pengaruh utama iklim mengenai serasah yang jatuh dapat diketahui dari beberapa data yang berdasarkan mintakat iklim. Sebagai contoh hutan Erectic Alpine, di daerah kutub utara memproduksi serasah sebanyak 1 ton per hektar per tahun, hutan di daerah dingin 3,5 ton per tahun dan daerah sedang atau subtropis sebanyak 5,5 ton per tahun. Sedangkan hutan di daerah katulistiwa atau tropis dapat menghasilkan serasah sebanyak 11 ton per hektar per tahun. Dari contoh tersebut dapat diambil perbandingan bahwa serasah yang didapatkan di Pegunungan Alpine : daerah dingin : daerah sedang : daerah tropis adalah 1 : 3 : 5 : 10. Dari perbandingan ini dapat dikatakan bahwa semakin ke arah ekuator semakin banyak produksi serasah yang dihasilkan.

Tabel 1. Produksi serasah dari berbagai lokasi (GOULTER & ALLAWAY 1979).

Jenis	Lokasi	Produksi serasah kering	
		(ton/ha/th)	Keterangan
<i>Rhizophora apiculata</i>	Phuket I, Thailand (8 °N.)	6,7	Dead leaf production.
<i>R. mangle</i>	Puerto Rico (18 °N.)	4,8	Dry organic in litter.
Mixed mangrove forest	Hinchinbrook I Qid. (18 °S.)	3,7-28,1	Litter fall. Total litter production.
Mostly <i>R. mangle</i>	Southern Florida U.S.A. (25 °N.)	8,8	Litter fall.
<i>R. mangle and Avicennia nitida</i> (syn. <i>germinans</i>)	Southern Florida U.S.A. (26 °N.)	0,8 - 12,7	
Principally <i>R. mangle</i> and <i>R. racemosa</i>	Southern Florida U.S.A. (16 °N.)	1,3 - 10,7	Dry organic matter in litter.
<i>Avicennia nitida</i>	Southern Florida U.S.A. (26 °N.)	4,9	Total leaf fall.
<i>A. nitida</i>	Southern Florida U.S.A. (26 °N.)	2,9	Dry organic matter in litter.
<i>A. marina</i>	Roseville, N.S.W. (34 °S.)	5,8	Total litter fall.
<i>A. marina</i>	Westernport Bay, Vic. (38 °S.)	2,0	Total litter production.

2. Ketinggian tempat

Menurut ERBERMAYERS (dalam CRA-CC 1964), Produksi serasah yang terbanyak didapat dari hutan mangrove yang terletak pada ketinggian 650 m - 850 m di atas permukaan laut. Pada ketinggian ini kondisi temperatur dan curah hujan adalah optimal untuk pertumbuhan hutan. Tempat yang lebih rendah, curah hujannya sering tidak cukup, sedangkan tempat yang lebih tinggi umumnya mempunyai temperatur udara terlalu rendah dan kecepatan anginnya kencang. Dengan demikian keadaan ini kurang menguntungkan bagi kehidupan pohon.

3. Kesuburan tanah

Tanah merupakan habitat yang sangat mempengaruhi keadaan pertumbuhan jenis tanaman. Pada umumnya produksi serasah akan berkurang dengan menurunnya kesuburan lahan (CRACC 1964). Pada Tabel 2 terlihat bahwa pada habitat yang berlainan, didapatkan serasah yang berbeda pula.

4. Kelembaban tanah

Pada umumnya produksi serasah akan berkurang dari kondisi lahan yang lembab ke kondisi lahan kering.

5. Kerapatan pohon dan bidang dasar

Dalam penelitian mengenai hubungan kerapatan pohon dan produksi serasah, MOLLER (dalam CRACC 1964) mengadakan pengamatan pada jenis *Fagus sp.*, namun memperoleh hasil yang tidak nyata atau kecil pengaruhnya terhadap produksi serasah. CROSBY (dalam CRACC 1964) mengadakan percobaan mengenai hubungan antara gugur serasah dan luas bidang dasar, pada tanaman percobaan jenis *Pinus echinata*. Hasil pengamatannya menunjukkan bahwa pertambahan luas bidang dasar sebanyak tiga kali lipat hanya menghasilkan pertambahan gugur serasah sebanyak dua kali lipat per tahun. Selain itu MOLLER (dalam CRACC 1964), juga mengadakan pengamatan mengenai ketipisan tajuk dari jenis *Fagus sp.* Hasil pengamatan menunjukkan bahwa

Tabel 2. Hasil rata-rata serasah *Rhizophora* spp. yang didapatkan di Missionary Bay (DUKE *et al.* 1981)

Lokasi	Jenis	Musim	Gram kering/m ² /hari	Ton/ha/tahun
Coral Creek	<i>Rhizophora apiculata</i>	1975 - 1976	2,69	9,8
		1976 - 1977	2,68	9,8
	<i>R. lamarckii</i>	1975 - 1976	2,36	8,6
		1976 - 1977	2,45	8,9
	<i>R. stylosa</i>	1975 - 1976	2,35	8,6
		1976 - 1977	2,80	10,2
Deep Creek	<i>R. apiculata</i>	1976 - 1977	5,30	19,6
		1977 - 1978	4,84	17,7
	<i>R. lamarckii</i>	1976 - 1977	2,81	10,2
		1977 - 1978	2,68	9,8
	<i>R. stylosa</i>	1976 - 1977	3,46	12,6
		1977 - 1978	2,99	10,9

pohon yang mempunyai tajuk lebat dapat memproduksi serasah sebanyak 2 ton per hektar per tahun, pohon yang bertajuk agak tebal memproduksi serasah 1,9 ton per hektar per tahun, sedangkan pohon yang bertajuk tipis hanya dapat memproduksi sebanyak 1,7 ton per hektar per tahun. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin tipis tajuk pohon maka produksi serasah semakin sedikit.

6. Pengaruh waktu (musim)

Musim sangat berpengaruh terhadap banyaknya gugur serasah dari jenis tumbuhan tertentu, tetapi mungkin kurang begitu berpengaruh terhadap jenis lainnya. Untuk hutan di daerah tropis atau katulistiwa seperti Malaya, Colombia dan Ghana, jumlah serasah yang gugur adalah tetap sepanjang tahun, tetapi ada kecenderungan untuk berkurang pada pengumpulan serasah dalam setengah tahun pertama (NYE dalam CRACC 1964). Selain itu dilaporkan bahwa gugur serasah yang minimum didapatkan pada musim hujan dan maksimum di musim kering.

7. Variasi tahunan

Produksi serasah yang jatuh dari tahun ke tahun berbeda, tetapi hal ini tidak berlaku untuk semua jenis tanaman dan semua daerah (Tabel 2).

8. Umur tegakan

MOLLER (dalam CRACC 1964) mengadakan pengamatan terhadap 3 kelompok umur hutan yaitu 31 tahun — 60 tahun, 61 tahun - 119 tahun dan hutan tua 120 tahun — 200 tahun. Masing-masing kelompok itu menghasilkan serasah sebesar 2,8 ton per hektar per tahun, 2,7 ton per hektar per tahun dan 2,5 ton per hektar per tahun. Pengamatan lain menunjukkan bahwa pada umur 20 tahun *Pinus* sp. menghasilkan serasah sebesar 2,5 ton per hektar per tahun, sedang pada umur 100 tahun hanya menghasilkan 1,3 ton per hektar per tahun. Sedang menurut DENEKEMAN (dalam CRACC 1964) jumlah serasah yang gugur dari jenis *Picea abies* akan mencapai mak-

simum pada umur 60 tahun - 60 tahun. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa umur tegakan akan berpengaruh terhadap produksi serasah.

DAFTAR PUSTAKA

- BROTONEGORO, S dan ABDULKADIR 1978. Penelitian pendahuluan tentang kecepatan gugur daun dan penguraiannya dalam hutan Pulau Rambut. *Dalam* : Pros. Seminar Ekosistem Mangrove : (S. SOEMODIHARDJO, A. NONTJI, A. DJAMALI Eds), 81 - 85.
- CRACC, J.B. 1964. *Advances in ecological research*. Academic Press. London, pp. 105-113.
- DUKE, N.C., J.S. BUNT, and W.T. WILLIAMS 1981. Mangrove litter fall in N.E. Australia. I. Annual totals by component in Selected species. *Aust. J. Bot.* 29 : 547-553.
- GOULTER. P.F.E. and W.G. ALLAWAY 1979. Litter fall and decomposition in mangrove stand, *Avicennia marina* (Forsk) Vierh, in Middle Harbour Sydney. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 30 : 541 — 546.
- LEAR, R. and T. TURNER 1977. *Mangrove of Australia*. University of Queensland Press, pp. 45 — 54.
- MARTOSUBROTO, P. 1978. Sumbangan hutan mangrove terhadap perikanan. *Dalam* : Pross. Seminar I Ekosistem mangrove : (S. SOEMODIHARDJO; A. NONTJI; A. DJAMALI eds), 109 - 113.
- PROCTOR, J. 1983. *Tropical forest litter fall. Ecology and management*. Blackwell Sci. Pub., Oxford Edinburgh, pp. 267 - 273.
- SWIFT, M.J. ; O.W. HEAL & J.M. ANDERSON 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystem*. Blackwell Sci. Pub., Oxford Edinburgh. 145-153.