

## MODEL DINAMIK RANTAI MAKANAN PADA EKOSISTEM MANGROVE DI LAGUNA TASILAHA

Oleh :  
Abd. Hamid Noer<sup>(1)</sup>

### ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan pada kawasan hutan mangrove di Tasilaha Desa Tolongano, Kabupaten Donggala. Pengamatan dilakukan pada 2 musim yakni Musim Timur dan Musim Barat.

Hasil kajian sebaran data pada diagram pencar, diperoleh gambaran bahwa pola gugur serasah mulai bulan ke-0 (bulan Mei awal Musim Timur) hingga bulan ke-11 (bulan April akhir Musim Barat) adalah menurun, meningkat, selanjutnya menurun lagi. Pola ini, Hasil estimasi gugur serasah trendnya mengikuti fungsi polinomial kubik dengan persamaan:  $S^{\wedge} = b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3t^3$ .

Pemodelan dinamik untuk peluluhan serasah didasarkan pada estimasi peluluhan secara eksponensial merujuk kepada Macjey dan Smail (1996). Estimasi dilakukan dengan melibatkan seluruh jenis serasah yang diukur peluluhannya hingga diperoleh satu laju peluluhan bagi serasah tanpa melihat jenisnya.

Pemodelan dinamik untuk peluluhan serasah didasarkan pada estimasi peluluhan secara eksponensial merujuk kepada Macjey dan Smail (1996). Estimasi dilakukan dengan melibatkan seluruh jenis serasah yang diukur peluluhannya hingga diperoleh satu laju peluluhan bagi serasah tanpa melihat jenisnya.

Selanjutnya dalam pemodelan dinamik melalui *Powersim*, fungsi polinomial kubik serasah terhadap waktu akan menjadi *rate* yang bersifat menambah jumlah serasah untuk setiap pertambahan waktu (setiap bulannya).

Berdasarkan dua submodel dinamik gugur serasah dan peluluhan serasah dapat dibangun model dinamik yang menggambarkan tambahan serasah setiap waktunya dan pengurangan serasah karena proses peluluhan dari waktu ke waktu. Submodel gugur serasah Hasil simulasi model di atas antara bulan Mei sampai dengan bulan April yang membentuk siklus setiap tahunnya Bobot kering serasah awal (Mei) menurut hasil estimasi adalah sebesar 24,83 g/m<sup>2</sup> yang meluluh setiap bulannya dengan laju peluluhan 0,92/bulan. Pada bulan-bulan berikutnya, untuk setiap bulannya, jumlah serasah ditambah dengan jumlah serasah gugur dalam bulan tersebut yang juga meluluh dengan laju peluluhan yang sama.

Tampak dari simulasi model dinamik di atas, berat kering serasah tersedia tertinggi pada bulan Februari, sedangkan terendah pada bulan Mei, yang berbanding lurus dengan tinggi-rendahnya peluluhan serasah.

**Kata Kunci** : Pemodelan, Rantai Makanan dan Serasah Mangrove

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kawasan Laguna Tasilaha adalah salah satu kawasan hutan Mangrove alami di wilayah pesisir Sulawesi Tengah yang terletak di desa Tolongano, Kecamatan Banawa, Kabupaten Donggala. Kawasan ini memiliki hutan Mangrove seluas ± 54,9 ha. Sebagai suatu ekosistem di wilayah pesisir, hutan Mangrove memiliki fungsi dalam menunjang perkembangan serta kelestarian potensi sumberdaya alam hayati lainnya. Hutan Mangrove dapat memberikan kontribusi besar terhadap detritus organik yang sangat penting sebagai sumber energi bagi biota di perairan sekitarnya. Proses dekomposisi daun Mangrove menciptakan rantai makanan detritus yang kompleks, sehingga memperkaya produktivitas hewan bentos yang hidup di dasar perairan.

Kehadiran organisme dekomposer yang melimpah merupakan sumber makanan bagi berbagai jenis larva ikan, udang, dan biota lainnya yang sudah beradaptasi sebagai pemakan dasar. Detritus yang dihasilkan tidak hanya menjadi dasar bagi pembentukan rantai makanan di ekosistem Mangrove, tetapi juga penting sebagai sumber makanan dan nutrisi bagi biota di perairan pantai yang berada dekat dengan estuaria (Mulyadi *et al.*, 1986).

Secara ekologis, hutan Mangrove telah dikenal mempunyai banyak fungsi dalam kehidupan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung. Ekosistem Mangrove bagi sumberdaya ikan dan udang berfungsi sebagai tempat mencari makan, memijah, memelihara juvenil dan berkembang biak sementara bagi ekologi berfungsi sebagai penghasil sejumlah detritus dan perangkap sedimen. Hutan mangrove merupakan habitat berbagai jenis satwa baik sebagai habitat pokok maupun sebagai habitat sementara (Bengen, 1999).

<sup>1)</sup> Staf Pengajar pada Prog. Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Tadulako Palu.

Keberadaan hutan Mangrove sangat mempengaruhi kehidupan di perairan karena memegang peranan penting sebagai sumber nutrisi bagi berbagai organisme laut. Perubahan ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor yang berasal dari alam maupun dari aktivitas manusia seperti adanya peningkatan penebangan hutan Mangrove yang dapat menimbulkan penurunan nilai kuantitatif hutan Mangrove melampaui batas normal yang tidak dapat ditoleransi oleh organisme hidup dalam ekosistemnya.

Aktivitas tersebut akan meningkat di masa mendatang sesuai dengan laju pembangunan saat ini mendorong perlunya informasi sumberdaya pesisir dalam menunjang perencanaan pembangunan pesisir. Penelitian ini, membahas masalah yang berkaitan dengan dinamika produktivitas ekosistem Mangrove dan keterkaitan ekologis antar subsistem berdasarkan aliran energi dan biomassa pada ekosistem Mangrove.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas penelitian ini bertujuan mempelajari dinamika produktivitas biota perairan pada Laguna berdasarkan aliran energi dalam rantai makanan pada ekosistem Mangrove.

## II. METODE PENELITIAN

Kajian terhadap dinamika ekosistem Mangrove didasarkan pada aliran biomassa dan energi dari bahan organik berupa serasah Mangrove yang gugur sebagai sumber energi bagi organisme perairan Laguna. Pelapukan serasah yang gugur menghasilkan detritus sebagai sumber bahan organik yang baik dan penting bagi Mangrove, fitoplankton maupun konsumen primer (kepiting, zooplankton, dan lain-lain). Konsumen primer menjadi sumber energi bagi konsumen sekunder (ikan, predator invertebrata, burung dan lain-lain). Hutan Mangrove dan ganggang benthik sebagai produsen dalam pertumbuhannya secara langsung bergantung pada unsur-unsur esensial di perairan (Downing *et al.*, 1999).

Penelitian ini dibatasi pada hubungan antar komponen ekosistem yang berperan secara dominan dalam aliran energi ekosistem Mangrove. Parameter yang diamati meliputi : 1) Struktur komunitas mangrove; 2) Jumlah dan laju peluruhan serasah Mangrove yang gugur serta kandungan energinya; 3) Jenis, jumlah individu dan biomassa kepiting; 4) Jenis dan populasi bakteri; 5) Kandungan energi detritus; 6) Jenis, jumlah, biomassa dan kandungan energi fitoplankton; 7) Jenis, jumlah, biomassa dan kandungan energi zooplankton; 8) Jenis, jumlah dan biomassa ikan pelagis;

Model dinamik menggambarkan pola distribusi biomassa dan energi antar komponen ekosistem dalam kurun waktu tertentu. Aliran biomassa dan energi antar komponen dalam model dimulai dari aliran energi dari gugur serasah hingga detritus, dilanjutkan dengan aliran biomassa dari detritus fitoplankton, zooplankton dan ikan pelagis. Untuk melihat biomassa dan energi yang masuk dan keluar pada komponen-komponen yang diamati, aliran energi ekosistem Mangrove secara dinamis dimodelkan melalui *software* Powersim Studio 2005.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan keanekaragaman biota perairan ekosistem Mangrove menggambarkan karakteristik Laguna Tasilaha yang terdapat delapan subsistem utama yang saling berinteraksi. Pengendalian produksi biomassa dapat ditunjukkan melalui model trofik dalam rantai makanan.

Untuk tujuan konversi biomassa ke energi pada fitoplankton maupun zooplankton, persamaan konversi biomassa bobot karbon fitoplankton dengan kkal energi adalah:

$$\text{Fitoplankton kkal} = 1,348436 \text{ (Fitoplankton g karbon)} \quad (1)$$

Berdasarkan hasil estimasi di atas, persamaan konversi biomassa bobot kering zooplankton dengan kkal energi adalah:

$$\text{Zooplankton kkal} = 0,219042 \quad (2)$$

(Zooplankton g bobot kering)

Untuk tujuan deskripsi keterkaitan sebaran data energi detritus dengan energi fitoplankton, energi fitoplankton dengan energi zooplankton serta antara energi zooplankton dengan biomassa ikan, dari kajian sebaran data pada, diperoleh gambaran bahwa tidak terdapat pola hubungan yang jelas antara energi antar tingkatan trofik. Hal ini menunjukkan bahwa pada suatu lokasi dan stasiun tertentu, jumlah energi detritus yang ada tidak sebanding dengan jumlah energi fitoplankton yang ada. Dengan kata lain, energi detritus tidak berkaitan dengan energi fitoplankton. Demikian pula antara energi fitoplankton dengan energi zooplankton, serta energi zooplankton dengan bobot basah ikan. Transformasi yang terjadi antar subsistem selanjutnya akan dianalisis sebagai aliran konsumsi dan produktivitas dari fitoplankton, zooplankton dan ikan. Pada awal pemodelan, disusun model gugur serasah, proses dekomposisinya menjadi detritus dan proporsi ketersediaannya pada ekosistem dalam bentuk detritus melarut tersedia yang menopang produktivitas fitoplankton.

### 1. Model Gugur Serasah

Pemodelan untuk serasah yang gugur didasarkan pada estimasi jumlah bobot kering per satuan luas untuk tiap bulan pada musim timur dan barat. Musim timur dimulai dari bulan Mei sampai Oktober, sementara musim barat dari bulan November sampai April. Diasumsikan serasah yang gugur selama satu tahun mengalami perputaran atau siklus.

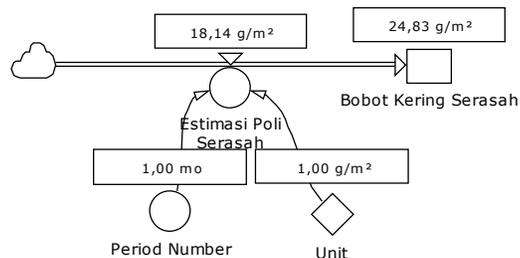
Dari kajian sebaran data diperoleh gambaran bahwa pola gugur serasah mulai bulan ke-0 (bulan Mei awal musim timur) hingga bulan ke-11 (bulan April akhir musim barat) adalah menurun, meningkat, selanjutnya menurun lagi. Berdasarkan pola ini, diestimasi bahwa pola trend serasah gugur mengikuti fungsi polinomial kubik dengan persamaan:  $S^{\wedge} = b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3t^3$ .

Hasil uji kesesuaian model kubik diperoleh nilai  $R^2 = 53,28\%$  ( $F = 3,04$  dengan  $p < 0,10$ ) yang menunjukkan kesesuaian model pada taraf kepercayaan  $>90\%$  dengan persamaan sbb.:

$$S = 24,831612 - 8,775575 t + 2,300266 t^2 - 0,142143 t^3 \quad (3)$$

Selanjutnya dalam pemodelan dinamik melalui *Powersim Studio Enterprise 2005*, fungsi polinomial kubik serasah terhadap waktu akan menjadi *rate* yang bersifat menambah jumlah serasah untuk setiap pertambahan waktu (setiap bulannya).

Berikut ini model dinamik melalui *Powersim* untuk serasah yang gugur setiap bulannya dimana nilai yang ditunjukkan oleh estimasi poli serasah adalah nilai estimasi gugur serasah pada satu bulan ke depan yang menambah jumlah serasah yang gugur. Nilai awal gugur serasah dimulai pada bulan Mei :



Gambar 1. Model dinamik bobot kering serasah gugur setiap bulan

Tabel 1. Hasil simulasi berat kering serasah gugur setiap bulan

Time	(g/m <sup>2</sup> )	
	Estimasi Poli Serasah	Bobot Kering Serasah
01 Mei 2002	18,14	24,83
01 Jun 2002	15,06	42,98
01 Jul 2002	14,74	58,04
01 Agust 2002	16,31	72,78
01 Sep 2002	18,94	89,09
01 Okt 2002	21,76	108,03
01 Nop 2002	23,92	129,78
01 Des 2002	24,57	153,70
01 Jan 2003	22,86	178,27
01 Feb 2003	17,94	201,13
01 Mar 2003	8,94	219,07
01 Apr 2003	24,83	228,01

Tampak pada model di atas, akumulasi bobot kering serasah yang gugur cenderung meningkat dengan proporsi yang relatif tidak

jauh berbeda. Dari estimasi polinomial serasah yang gugur diperoleh rata-rata bobot kering serasah yang gugur adalah sebesar 19 g.m<sup>-2</sup> perbulan pada luasan Mangrove.

## 2. Model Peluluhan Serasah

Pemodelan untuk serasah yang meluluh didasarkan pada estimasi peluluhan secara eksponensial merujuk kepada Mackey dan Smail (1996) dengan rumus peluluhan sbb.:

$$Y_t = Y_0 \cdot e^{-kt} \quad (4)$$

dimana:

Y<sub>t</sub> = berat kering serasah awal (g)

Y<sub>t</sub> = berat kering serasah pada waktu t (g)

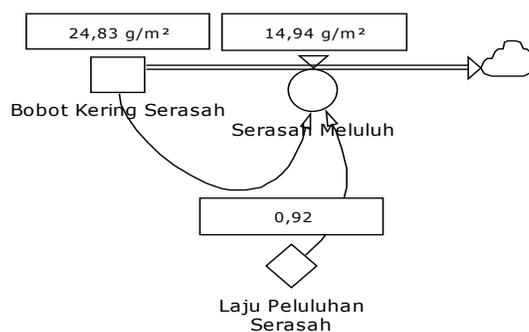
k = laju peluluhan

t = waktu (hari)

e = bilangan natural (2,7182)

Berdasarkan fungsi eksponensial di atas, selanjutnya diestimasi laju peluluhan k dengan meregresikan bobot kering serasah terhadap waktu. Data yang digunakan adalah data hasil pengamatan proses peluluhan serasah yang mengukur bobot kering serasah tersisa dari 0, 15, 30, 60, dan 75 hari sebagaimana telah diuraikan sebelumnya. Estimasi dilakukan dengan melibatkan seluruh jenis serasah yang diukur peluluhannya hingga diperoleh satu laju peluluhan bagi serasah tanpa melihat jenisnya.

Berikut ini model dinamik melalui Powersim untuk peluluhan serasah gugur setiap bulannya. Nilai awal peluluhan serasah dimulai pada bulan Mei :



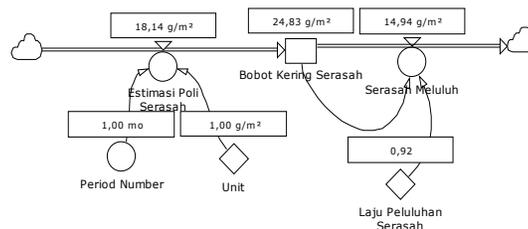
Gambar 2. Model dinamik peluluhan serasah gugur setiap bulan

Tabel 2. Hasil simulasi peluluhan serasah gugur setiap bulan

(g/m <sup>2</sup> )		
Time	Bobot Kering Serasah	Serasah Meluluh
01 Mei 2002	24,83	14,94
01 Jun 2002	9,90	5,95
01 Jul 2002	3,94	2,37
01 Agust 2002	1,57	0,95
01 Sep 2002	0,63	0,38
01 Okt 2002	0,25	0,15
01 Nop 2002	0,10	0,06
01 Des 2002	0,04	0,02
01 Jan 2003	0,02	9,5e-3
01 Feb 2003	6,3e-3	3,79e-3
01 Mar 2003	2,51e-3	1,51e-3
01 Apr 2003	1e-3	6,02e-4

## 3. Model Serasah yang Gugur dan Peluluhannya

Berdasarkan dua submodel dinamik gugur serasah dan peluluhan serasah dapat dibangun model yang menggambarkan tambahan serasah setiap waktunya dan pengurangan serasah karena proses peluluhan dari waktu ke waktu. Submodel gugur serasah menyumbangkan *rate* yang bersifat menambah jumlah serasah untuk setiap pertambahan waktu (setiap bulannya), sementara submodel peluluhan serasah menyumbangkan *rate* yang bersifat mengurangi jumlah serasah u bulan untuk setiap pertambahan waktu (setiap bulannya). Berikut ini model dinamik melalui Powersim yang menggabung submodel gugur serasah dan peluluhan serasah. Nilai awal peluluhan serasah dimulai bulan Mei :



Gambar 3. Model dinamik gugur serasah dan peluluhan serasah setiap bulan

Hasil simulasi model di atas antara bulan Mei sampai dengan bulan April yang membentuk siklus setiap tahunnya dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini. Bobot kering serasah awal (Mei) menurut hasil estimasi adalah sebesar 24,83 g/m<sup>2</sup> yang meluluh setiap bulannya dengan laju peluluhan 0,92/bulan. Pada bulan-bulan berikutnya, untuk setiap bulannya, jumlah

serasah tersisa yang belum meluluh ditambah dengan jumlah serasah yang gugur dalam bulan tersebut (diestimasi satu bulan sebelumnya melalui nilai estimasi poli serasah) yang juga akan meluluh dengan laju peluluhan yang sama.

Tampak dari simulasi model dinamik (Tabel 3), berat kering serasah tertinggi pada bulan Januari, sedangkan terendah pada bulan April, yang berbanding lurus dengan tinggi-rendahnya peluluhan serasah. Dari tabel di atas juga diperoleh estimasi bobot kering rata-rata serasah yang meluluh adalah sebesar 18,26 g.m<sup>-2</sup> perbulan pada luasan mangrove

Tabel 3. Hasil simulasi gugur serasah dan peluluhan serasah setiap bulan

Time	(g/m <sup>2</sup> )		
	Estimasi Poli Serasah	Bobot Kering Serasah	Serasah Meluluh
01 Mei 2002	18,14	24,83	14,94
01 Jun 2002	15,06	28,04	16,87
01 Jul 2002	14,74	26,24	15,78
01 Agust 2002	16,31	25,19	15,15
01 Sep 2002	18,94	26,35	15,85
01 Okt 2002	21,76	29,44	17,71
01 Nop 2002	23,92	33,49	20,14
01 Des 2002	24,57	37,26	22,41
01 Jan 2003	22,86	39,42	23,71
01 Feb 2003	17,94	38,57	23,20
01 Mar 2003	8,94	33,31	20,03
01 Apr 2003	24,83	22,22	13,36

#### 4. Model Pembentukan Detritus

Pemodelan untuk pembentukan detritus didasarkan pada estimasi rasio transformasi energi dari serasah yang meluluh menjadi detritus. Nilai rasio tersebut diestimasi sebesar 5,55 kali yang diasumsikan sama dengan nilai rata-rata rasio transformasi protein dari daun serasah yang gugur menjadi detritus sebagaimana merujuk kepada McLusky (1989). Menurut McLusky, akumulasi protein daun segar Spartina sebesar 10% menurun setelah gugur menjadi 6% dan meningkat setelah peluluhan menjadi 24% (setelah meluluh = 4x gugur). Sedangkan pada daun segar Rhizophora sp. sebesar 6,1% yang menurun setelah gugur menjadi 3,1% dan meningkat setelah peluluhan (dekomposisi oleh bakteri selama 12 bulan) menjadi 22% (setelah luluh = 7,1x gugur).

Mengkaji bahwa model gugur dan peluluhan serasah sebelumnya masih dalam satuan gram bobot kering, maka untuk kepentingan pemodelan pembentukan

detritus ini, satuan tersebut perlu dikonversi terlebih dahulu ke dalam kkal. Estimasi bobot konversi gram ke kkal dilakukan dengan meregresikan data gugur serasah dalam gram bobot kering terhadap data gugur serasah dalam kkal dari bulan Mei s/d April.

#### Serasah dalam kkal.

Dari kajian sebaran data diperoleh gambaran bahwa hubungan antara data gugur serasah dalam gram bobot kering terhadap data gugur serasah dalam kkal berbentuk linear dengan *slope* positif. Berdasarkan pola tersebut, diestimasi bahwa pola konversi mengikuti fungsi linear sederhana tanpa intersep dengan persamaan: energi gugur serasah kkal<sup>^</sup> = b x (gugur serasah gram bobot kering).

Hasil uji kesesuaian model linear tanpa intersep diperoleh nilai R<sup>2</sup> = 98,82% (F = 922,99 dengan p < 0,01) yang menunjukkan kesesuaian model pada taraf kepercayaan >99% dengan persamaan sbb.:

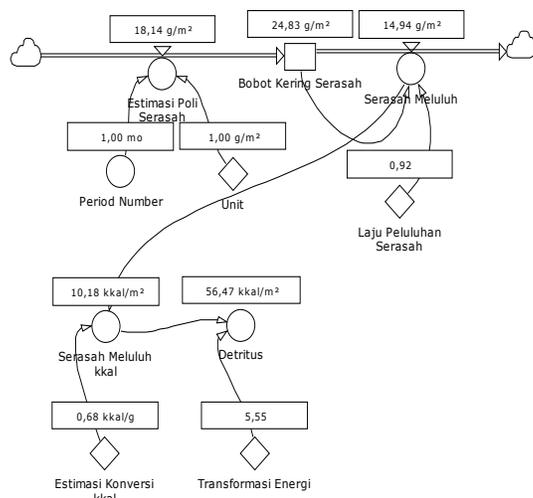
$$\text{Gugur serasah kkal} = 0,681281 (\text{gugur serasah g bobot kering}) \quad (5)$$

Dalam pemodelan dinamik fungsi konversi gugur serasah ke dalam kkal akan menjadi *constant* yang mengkonversi 1 gram bobot kering = 0,681281 kkal. Sementara nilai rasio transformasi gugur serasah menjadi detritus akan menjadi *constant* yang mentransformasi 1 kkal gugur serasah menjadi 5,55 kkal detritus satu tahun ke depan.

Berikut ini model dinamik melalui pembentukan detritus setiap bulannya dengan asumsi detritus yang terbentuk pada bulan tertentu merupakan hasil dekomposisi bakteri atas serasah yang gugur 12 bulan sebelumnya. Nilai awal pembentukan detritus dimulai pada bulan Mei :

Hasil simulasi model (Gambar 4) antara bulan Mei sampai dengan bulan April yang membentuk siklus setiap tahunnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Bobot kering serasah yang meluluh pada bulan Mei sebesar 14,94 g/m<sup>2</sup> sebanding dengan nilai energi sebesar 10,18 kkal/m<sup>2</sup>. Nilai energi serasah yang meluluh ini setelah

transformasi oleh bakteri, dalam jangka waktu 12 bulan, membentuk detritus dengan nilai energi sebesar 56,47 kkal/m<sup>2</sup> (rasio transformasi = 5,55 kali). Pada bulan-bulan berikutnya, untuk setiap bulannya, sebagai wujud produksi dari serasah 1 tahun ke belakang, terbentuk detritus dengan rasio transformasi energi yang sama. Dalam tabel di bawah, energi detritus yang terbentuk setiap bulannya merupakan hasil dekomposisi bakteri pada peluluhan serasah 1 tahun sebelumnya (tahun 2001) yang diestimasi sama dengan peluluhan serasah tahun 2002.



Gambar 4. Model dinamik pembentukan detritus setiap bulan

Tabel 4. Hasil simulasi pembentukan detritus setiap bulan

Simulasi Tabel Transformasi Detritus (kkal/m <sup>2</sup> )		
Time	Serasah Meluluh kkal	Detritus
01 Mei 2002	10,18	56,47
01 Jun 2002	11,49	63,77
01 Jul 2002	10,75	59,67
01 Agust 2002	10,32	57,30
01 Sep 2002	10,80	59,93
01 Okt 2002	12,06	66,95
01 Nop 2002	13,72	76,16
01 Des 2002	15,27	84,75
01 Jan 2003	16,15	89,66
01 Feb 2003	15,81	87,72
01 Mar 2003	13,65	75,75
01 Apr 2003	9,10	50,52

Tampak dari simulasi model dinamik di atas, detritus tertinggi pada bulan Januari, sedangkan terendah pada bulan April, yang berbanding lurus dengan tinggi rendahnya peluluhan serasah. Dari tabel di atas diperoleh bahwa rata-rata energi detritus yang terbentuk dari proses peluluhan serasah

adalah sebesar 69,05 kkal.m<sup>-2</sup> perbulan pada luasan mangrove.

## 5. Model Pembentukan Detritus Sumbangan Luasan Mangrove

Pemodelan untuk detritus yang disumbangkan oleh luasan mangrove didasarkan pada kontribusi serasah pada seluruh luasan mangrove di laguna Tasilaha. Detritus sebagai sumber nutrisi fitoplankton yang dihasilkan dari dekomposisi serasah yang gugur sebagiannya melarut dalam air laut yang diasumsikan terdistribusi secara merata pada seluruh volume laguna. Diasumsikan proporsi energi detritus yang melarut adalah sebanyak 70% sementara yang mengendap adalah sebanyak 30% dengan jumlah energi per liter yang sama.

Sebagaimana telah diuraikan pada bagian sebelumnya, luas mangrove di Laguna Tasilaha dari ketiga lokasi yang ada saat penelitian ini dilakukan (pertahun 2002) adalah sebesar 54,90 ha. Berdasarkan pada pelibatan seluruh luasan mangrove yang ada, model dinamik yang sebelumnya telah dijelaskan dapat direkonstruksi sebagai berikut:

Simulasi Tabel Gugur dan Peluluhan Serasah (g)			
Time	Estimasi Poli Serasah	Bobot Kering Serasah	Serasah Meluluh
01 Mei 2002	9.961.012,41	13.632.554,99	8.199.613,59
01 Jun 2002	8.269.820,00	15.393.953,81	9.259.047,40
01 Jul 2002	8.090.758,70	14.404.726,40	8.664.053,84
01 Agust 2002	8.955.609,49	13.831.431,27	8.319.232,30
01 Sep 2002	10.396.153,32	14.467.808,46	8.701.995,99
01 Okt 2002	11.944.171,15	16.161.965,79	9.720.985,87
01 Nop 2002	13.131.443,93	18.385.151,08	11.058.171,76
01 Des 2002	13.489.752,62	20.458.423,24	12.305.188,97
01 Jan 2003	12.550.878,19	21.642.986,90	13.017.672,01
01 Feb 2003	9.846.601,58	21.176.193,07	12.736.908,13
01 Mar 2003	4.908.703,76	18.285.886,52	10.998.466,81
01 Apr 2003	13.632.554,99	12.196.123,47	7.335.638,83

Tabel 5. Hasil simulasi pembentukan detritus sumbangan luasan mangrove setiap bulan

Simulasi Tabel Transformasi Detritus (kkal)		
Time	Serasah Meluluh kkal	Detritus
01 Mei 2002	5.586.240,95	31.003.637,25
01 Jun 2002	6.308.013,07	35.009.472,55
01 Jul 2002	5.902.655,26	32.759.736,71
01 Agust 2002	5.667.734,90	31.455.928,70
01 Sep 2002	5.928.504,53	32.903.200,15
01 Okt 2002	6.622.722,97	36.756.112,49
01 Nop 2002	7.533.722,32	41.812.158,85
01 Des 2002	8.383.291,45	46.527.267,52
01 Jan 2003	8.868.692,60	49.221.243,95
01 Feb 2003	8.677.413,51	48.159.644,98
01 Mar 2003	7.493.046,47	41.586.407,90
01 Apr 2003	4.997.631,36	27.736.854,03

Sebagaimana dapat dilihat pada tabel di atas, jumlah kalori pada detritus yang terbentuk pada bulan Mei dari proses dekomposisi serasah yang gugur dari seluruh luasan mangrove laguna diestimasi sebesar 31.003.637,25 kkal. Sebesar 70% diantaranya melarut (21.702.546,08 kkal) sebagai sumber nutrisi bagi fitoplankton, sementara 30%nya sebagai sumber nutrisi biota laguna lainnya mengendap (9.301.091,17 kkal). Detritus yang melarut terdistribusi merata pada setiap satuan volume laguna. Dengan laguna seluas 400 ha dan kedalaman rata-rata 12 m, volume laguna, yang dianalogikan sebagai volume balok, diprediksikan secara matematis sebesar 48.000.000 m<sup>3</sup>. Dalam volume sebesar ini, jumlah kalori detritus terlarut untuk setiap m<sup>3</sup> adalah sebanyak 0,452 kkal. Energi per satuan permukaan adalah sebesar 5,426 kkal.m<sup>-2</sup>. Jika nilai energi ini dikonversikan dalam bobot karbon, dengan asumsi konversi bobot karbon ke energi pada detritus sama dengan konversi pada fitoplankton, maka bobot karbon biomassa detritus adalah sebesar:  $(1 / 1,348436) \times 5,426 = 4,024 \text{ g.m}^{-2}$  karbon yang setara dengan 40,24 g.m<sup>-2</sup> bobot basah (sesuai konversi dari Jones (1979, dalam Fetahi, 2005): Karbon = 10% x Bobot Basah). Untuk bulan-bulan berikutnya, biomassa detritus yang terlarut berbeda-beda bergantung kepada jumlah detritus yang terbentuk dari dekomposisi gugur serasah sebagaimana dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini.

Tabel 6. Hasil simulasi jumlah detritus yang terlarut setiap bulan

Time	Detritus Melarut (kkal)	Detritus Melarut Bobot Basah (g/m <sup>2</sup> )
01 Mei 2002	21.702.546,08	40,24
01 Jun 2002	24.506.630,79	45,44
01 Jul 2002	22.931.815,69	42,52
01 Agust 2002	22.019.150,09	40,82
01 Sep 2002	23.032.240,11	42,70
01 Okt 2002	25.729.278,74	47,70
01 Nop 2002	29.268.511,20	54,26
01 Des 2002	32.569.087,26	60,38
01 Jan 2003	34.454.870,77	63,88
01 Feb 2003	33.711.751,48	62,50
01 Mar 2003	29.110.485,53	53,97
01 Apr 2003	19.415.797,82	36,00

Tampak dari simulasi model dinamik di atas, bobot basah detritus melarut tertinggi pada bulan Januari, sedangkan terendah pada

bulan April, sebanding dengan tinggi-rendahnya peluluhan serasah. Dari tabel di atas juga diperoleh estimasi bobot basah rata-rata detritus yang melarut adalah sebesar 49,20 g.m<sup>-2</sup> pada luasan laguna.

## 6. Model Fitoplankton dan Detritus

Pemodelan untuk produktivitas fitoplankton dalam penelitian ini didasarkan pada rasio produktivitas pada biomassa fitoplankton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bobot karbon rata-rata biomassa fitoplankton adalah sebesar 1,697 mg.l<sup>-1</sup> atau 1,697 g.m<sup>-3</sup>. Hasil kali nilai ini dengan kedalaman *euphotic* (kedalaman yang masih dapat ditembus oleh cahaya matahari) pada laguna yang diteliti (2,25 m) akan menghasilkan nilai konversi biomassa bobot karbon ke dalam unit meter persegi sebesar 3,81825 g.m<sup>-2</sup>.

Berdasarkan nilai rata-rata bobot basah biomassa fitoplankton dapat diestimasi produktivitas fitoplankton yang diteliti adalah sebesar  $285,52 \times 38,1825 = 10.901,87 \text{ g.m}^{-2}.\text{tahun}^{-1}$  bobot basah. Tampak bahwa hasil pengukuran pada penelitian ini memberikan hasil yang relatif tidak jauh berbeda daripada penelitian Fetahi. Produktivitas ini merupakan produktivitas total pertahun dari rata-rata bobot basah biomassa fitoplankton dalam 10 jam perharinya (waktu fotosintesis) selama 12x30 hari. Dengan demikian, produktivitas fitoplankton perbulannya adalah sebesar 908,49 g.m<sup>-2</sup> bobot basah. Biomassa detritus yang diperlukan dalam menunjang produktivitas fitoplankton,

Dari proses perhitungan di atas, biomassa detritus yang diperlukan adalah sebesar 61,90 g.m<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup> bobot basah atau sebesar 1.857 g.m<sup>-2</sup>.bulan<sup>-1</sup> atau 22.284 g.m<sup>-2</sup>.tahun<sup>-1</sup> bobot basah. Berdasarkan nilai rata-rata bobot basah biomassa fitoplankton (38,1825 g.m<sup>-2</sup> bobot basah) dapat diestimasi rasio konsumsi/biomassa (Q/B) fitoplankton yang diteliti adalah sebesar  $22.284 / 38,1825 = 583,62$  pertahun atau 48,64 perbulan.

Membandingkan biomassa detritus yang diperlukan perbulannya (1.857 g.m<sup>-2</sup> bobot basah) dengan detritus tersedia (40,24 g.m<sup>-2</sup> bobot basah) pada bulan Mei, tampak

bahwa detritus tersedia bulan Mei belum mencukupi untuk menopang produktivitas fitoplankton pada bulan tersebut.

## 7. Model Zooplankton

Pemodelan dinamik untuk produktivitas zooplankton dalam penelitian ini didasarkan pada rasio produktivitas pada biomassa zooplankton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bobot kering rata-rata biomassa zooplankton adalah sebesar  $8,930 \text{ mg.l}^{-1}$  atau  $8,930 \text{ g.m}^{-3}$ . Hasil kali nilai ini dengan kedalaman rata-rata pada laguna yang diteliti (12 m) akan menghasilkan nilai konversi biomassa bobot kering ke dalam unit meter persegi sebesar  $107,16 \text{ g.m}^{-2}$ .

Rasio produktivitas/biomassa (P/B) zooplankton pada penelitian ini merujuk kepada hasil estimasi Mengistou (1989 dalam Fetahi, 2005) yang menunjukkan nilai ratio  $P/B = 236,4$  pertahun atau 19,7 perbulan. Berdasarkan nilai rata-rata bobot basah biomassa zooplankton dapat diestimasi produktivitas zooplankton yang diteliti adalah sebesar  $236,4 \times 535,8 = 126.663,12 \text{ g.m}^{-2}.\text{tahun}^{-1}$  bobot basah. Produktivitas ini merupakan produktivitas total pertahun dari zooplankton. Dengan demikian, produktivitas zooplankton perbulan adalah sebesar  $10.555,26 \text{ g.m}^{-2}$  bobot basah.

Berdasarkan nilai efisiensi konversi makanan yang ditunjukkan oleh nilai rasio produktivitas terhadap konsumsi ( $P/Q$ ) = 0,2

Dari perhitungan di atas diperoleh nilai konsumsi adalah sebesar  $Q = 633.315,6 \text{ g.m}^{-2}.\text{tahun}^{-1}$  atau  $52.776,3 \text{ g.m}^{-2}.\text{bulan}^{-1}$  bobot basah sementara nilai rasio konsumsi pada biomassa adalah sebesar 1.182,0 pertahun atau 98,5 perbulan.

## 8. Model Ikan

Pemodelan dinamik untuk produktivitas ikan dalam penelitian ini didasarkan pada rasio produktivitas pada biomassa ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bobot basah rata-rata biomassa ikan adalah sebesar  $994,51 \text{ g}$  dalam volume tarikan jaring  $272,28 \text{ m}^3$  atau sebesar  $3,653 \text{ g.m}^{-3} = 3.653 \text{ ton.km}^{-3}$ . Volume tarikan jaring dihitung

sebagai hasil kali luas mulut jaring ( $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ) dengan panjang penarikan jaring ( $68,07 \text{ m}$ ). Panjang penarikan jaring dihitung sebagai panjang sisi miring penarikan dengan alas  $67 \text{ m}$  (diukur dari titik peletakan jaring hingga titik pengangkatan jaring) dan tinggi = kedalaman rata-rata laguna  $12 \text{ m}$ . Hasil kali nilai ini dengan kedalaman rata-rata pada laguna yang diteliti ( $12 \text{ m}$  atau  $12.10^{-3} \text{ km}$ ) akan menghasilkan nilai konversi biomassa bobot basah ke dalam unit kilometer persegi sebesar  $43,836 \text{ ton.km}^{-2}$ .

Rasio produktivitas/biomassa (P/B) ikan pada penelitian ini didefinisikan sebagai jumlah dari rasio penangkapan/biomassa (C/B), rasio tambahan- biomassa/biomassa atau rasio akumulasi biomassa terhadap biomassa (BA/B),

Rasio mortalitas alami dan rasio produktivitas/biomassa (P/B) ikan pada laguna dalam kondisi *steady-state ecosystem* sebesar 1,22 pertahun atau 0,102 perbulan. Berdasarkan nilai rata-rata bobot basah biomassa ikan dapat diestimasi mortalitas alami (M) dan produktivitas ikan (P) pada kondisi *steady-state ecosystem* adalah sebesar  $M/B \times B = P/B \times B = 1,22 \times 43,836 = 53,480 \text{ ton.km}^{-2}.\text{tahun}^{-1}$  bobot basah. Mortalitas alami dan produktivitas ini merupakan mortalitas alami total pertahun dan produktivitas total pertahun dari ikan. Dengan demikian, mortalitas dan produktivitas ikan perbulan pada kondisi *steady-state ecosystem* adalah sebesar  $4,457 \text{ ton.km}^{-2}$  atau  $4,457 \text{ g.m}^{-2}$  bobot basah.

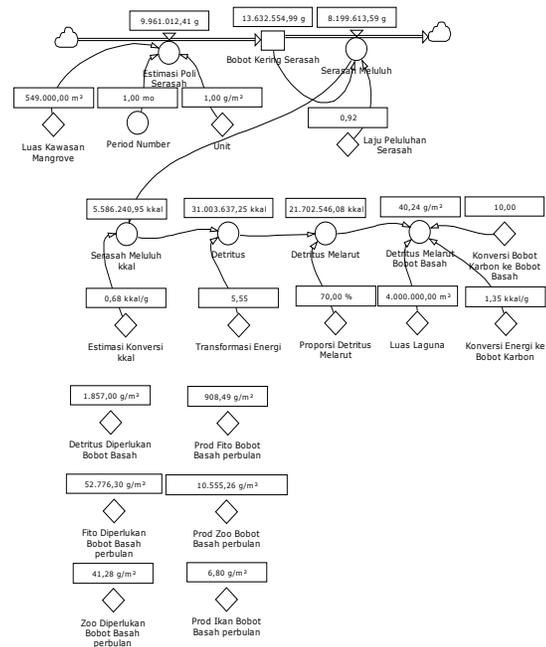
Pada kondisi perkembangan (*non steady-state ecosystem*) sebagaimana kondisi yang ada saat penelitian, rasio produktivitas ikan bergantung kepada rasio penangkapan, rasio akumulasi biomassa dan rasio mortalitas alami sebagaimana persamaan  $P/B = C/B + BA/B + M/B$ . Dengan demikian, rasio produktivitas P/B dapat dihitung sebagai hasil penjumlahan rasio akumulasi biomassa (BA/B) dan rasio mortalitas alami (M/B) dimana M/B telah diestimasi dalam penelitian ini sebesar 1,22 pertahun atau 0,102 perbulan. Berikut ini proses estimasi rasio penangkapan dan rasio akumulasi biomassa dalam perhitungan rasio

produktivitas pada kondisi perkembangan. Bobot basah rata-rata diketahui sebesar  $B = B_t = 43,836 \text{ ton.km}^{-2}$  atau  $43,836 \text{ g.m}^{-2}$ .

Berdasarkan data hasil penangkapan ikan menurut Dinas Perikanan pada tahun 2003, dapat diestimasi penangkapan (*fishing*) pertahun  $C =$  bobot basah penangkapan persatuan luas laguna  $= 18,54 \text{ ton} / 4.000.000 \text{ m}^2 = 4,635 \text{ ton.km}^{-2}$  pertahun atau  $0,386 \text{ ton.km}^{-2}$  perbulan dengan rasio penangkapan  $C/B = 0,1057$  pertahun atau  $0,0088$  perbulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bobot basah rata-rata biomassa ikan pada setengah tahun terakhir adalah sebesar  $1526,374 \text{ g}$  dalam volume tarikan jaring  $272,28 \text{ m}^3$  atau sebesar  $5,6059 \text{ g.m}^{-3} = 5.605,9 \text{ ton.km}^{-3}$ . Hasil kali nilai ini dengan kedalaman rata-rata pada laguna yang diteliti ( $12 \text{ m}$  atau  $12.10^{-3} \text{ km}$ ) akan menghasilkan nilai konversi biomassa bobot basah ke dalam unit kilometer persegi sebesar  $67,271 \text{ ton.km}^{-2}$ . Diasumsikan satu tahun ke depan bobot basah rata-rata biomassa ikan sama dengan bobot basah rata-rata setengah tahun terakhir di atas, yaitu sebesar  $B_{t+1} = 67,271 \text{ ton.km}^{-2}$ . Dengan demikian diperoleh akumulasi biomassa dalam setahun adalah sebesar  $BA = 23,435 \text{ ton.km}^{-2}$  pertahun ( $B_{t+1} - B_t = 67,271 \text{ ton.km}^{-2} - 43,836 \text{ ton.km}^{-2}$ ) atau  $1,953 \text{ ton.km}^{-2}$  perbulan. Dengan rasio akumulasi biomassa  $BA/B = 0,535$  pertahun atau  $0,0446$  perbulan.

Dari perhitungan di atas diperoleh estimasi rata-rata berat basah ikan maksimum  $W_{inf} = 1089 \text{ g}$ . Rata-rata suhu badan air pada laguna sebesar  $31^\circ\text{C}$  ( $304,15 \text{ Kelvin}$ ) dengan nilai indeks  $T = 3,288$ . Dummy variabel  $P_f = 1$  dan  $h_d = 0$  untuk ikan sebagai pemangsa zooplankton dan karnivora.

Pemodelan dinamik berdasarkan uraian di atas dapat dilihat pada model Powersim, tabel dan gambar di bawah ini.



Gambar 6. Model dinamik aliran materi dan energi pada ekosistem mangrove di Laguna Tasilaha

## 9. Aliran Produktivitas Biomassa di Laguna Tasilaha

Aliran produktivitas biomassa didasarkan pada nilai rasio produktivitas terhadap biomassa ( $P/B$ ) dan nilai rasio konsumsi terhadap biomassa ( $Q/B$ ). Aliran ini dimulai dari biomassa detritus tersedia perbulan yang dihitung sebagai rata-rata detritus melarut yang tersedia hasil pemodelan, yaitu sebesar  $P_1 = 49,20 \text{ g.m}^{-2}$  bobot basah perbulan pada luas laguna. Proporsi detritus ini adalah sebesar 70% dari total energi detritus yang dihasilkan dari dekomposisi serasah yang gugur, yaitu sebesar  $69,05 \text{ kkal.m}^{-2}$  perbulan pada luasan mangrove. Bobot kering rata-rata serasah yang meluluh adalah sebesar  $18,26 \text{ g.m}^{-2}$  bobot kering perbulan yang dihasilkan dari proses gugur serasah. Hasil estimasi model menunjukkan bahwa gugur serasah rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar  $P_0 = 19,00 \text{ g.m}^{-2}$  bobot kering perbulannya pada luasan mangrove.

Tampak bahwa perbulannya, detritus terlarut yang mampu dihasilkan dari gugur serasah belum mencukupi kebutuhan fitoplankton untuk berproduksi. Hal ini menunjukkan bahwa produksi fitoplankton masih mengandalkan pada cadangan detritus terlarut yang masih tersedia di laguna sebagai bentuk akumulasi detritus dari masa sebelumnya, baik yang berasal dari serasah maupun hasil penguraian biota yang mati. Kurangnya dukungan produktivitas juga tampak pada kontribusi fitoplankton terhadap kebutuhan konsumsi zooplankton yang menggambarkan bahwa konsumsi zooplankton yang ada tidak semata-mata diperoleh dari fitoplankton namun juga dari partikel-partikel serasah yang disumbangkan oleh kawasan. Berbeda halnya dengan zooplankton, produktivitas zooplankton lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan konsumsi ikan.

Model di atas juga menunjukkan bahwa kebutuhan fitoplankton pada detritus terlarut untuk menunjang produktivitasnya perbulan adalah sebesar  $1.857 \text{ g.m}^{-2}$  bobot basah. Nilai ini sebanding dengan  $185,7 \text{ g.m}^{-2}$  karbon (sesuai konversi dari Jones (1979, dalam Fetahi, 2005): Karbon = 10% x Bobot Basah). Jika bobot karbon ini dikonversikan dalam energi, dengan asumsi konversi bobot karbon ke energi pada detritus sama dengan konversi pada fitoplankton, maka energi detritus terlarut adalah sebesar:  $185,7 \times 1,348436 = 250,4046 \text{ kal.m}^{-2}$ . Untuk laguna seluas  $4.000.000 \text{ m}^2$ , total energi detritus terlarut adalah sebesar  $1.001.618.400 \text{ kkal}$ . Energi detritus yang terlarut ini adalah 70% dari total energi detritus yang dihasilkan dari proses peluluhan serasah, yaitu sebesar  $1.430.883.429 \text{ kkal}$ . Jika diasumsikan seluruh energi detritus dihasilkan dari gugur serasah maka dengan rata-rata  $69,05 \text{ kkal.m}^{-2}$  maka diperlukan lahan mangrove seluas  $20.722.425 \text{ m}^2$  atau  $2.072,2425 \text{ ha}$ .

Luas mangrove sebesar ini setara dengan 37,746 kali luas mangrove saat penelitian ini dilakukan ( $54,90 \text{ ha}$ ).

Mengkaji kegiatan penangkapan ikan, dapat dinyatakan bahwa rasio penangkapan terhadap produktivitas ikan adalah sebesar  $C_4/P_4 = 0,386 / 6,796 = 0,05680$  atau  $C_4/P_4 = 5,680\%$ . Proporsi penangkapan ini relatif masih rendah dibandingkan dengan potensi produktivitas ikan yang ada relevan dengan masih tradisionalnya teknik penangkapan yang dilakukan oleh para nelayan di Laguna Tasilaha.

#### IV. PENUTUP

Secara spesifik potensi laguna setelah serasah mangrove sampai produktivitas ikan pelagis hasil penelitian ini adalah :

- a. Fitoplankton dapat memproduksi energi sebesar  $908,4 \text{ gram/m}^2$  setara dengan kalor  $1271,76 \text{ k.kal/m}^2/\text{bulan}$ . Selanjutnya bagi zooplankton pada *thropic level* berikutnya yang dapat memproduksi energi sebesar  $10.555,26$  setara dengan kalor  $14.777,36 \text{ k.kal/m}^2/\text{bulan}$ .
- b. Ikan pelagis pada *thropic level* berikutnya dengan jumlah biomassa  $43,836 \text{ gram/m}^2$  membutuhkan energi  $41,279 \text{ gram/m}^2$  setara kalor sebesar  $57,735 \text{ k.kal/m}^2/\text{bulan}$  dapat produksi ikan sebesar  $6,796 \text{ gram/m}^2$  atau  $0,068 \text{ ton/ha/bulan}$  setara dengan  $680 \text{ kg/ha/bulan}$ .
- c. Berdasarkan data hasil penangkapan ikan menurut data yang diolah dari potensi desa Tolongano dan Dinas Perikanan kabupaten Donggala (2004), hasil tangkapan nelayan rata-rata  $0,00386 \text{ ton/ha/bulan}$  setara dengan  $38,6 \text{ kg/ha/bulan}$ . Proporsi penangkapan ini relatif masih rendah dibandingkan dengan potensi produktivitas ikan yang ada relatif belum berkembangnya teknik penangkapan oleh para nelayan di laguna Tasilaha.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bengen, D.G., (1999), *Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. PKSPL. IPB. Bogor.
- Downing. J. A., C. W. Osenberg, And O. Sarnelle., (1999), Meta-analysis of marine nutrient-enrichment experiment : variation in the magnitude of nutrient limitation. *Ecology* 80(4), pp. 1157 – 1167.
- Fetahi, Tadesse, (2005), Trophic analysis of Lake Awassa using mass-balance Ecopath model. MSc.Thesis, Addis Ababa University Ethiopia.  
<http://www.ecopath.org/modules/models/papers/Trophic%20analysis%20of%20Lake%20Awassa,%20Ethiopia.pdf>
- Folke, C., N. Kautsky, H.Berg, A. Jansson, M. Troell, (1998), *The Ecological Footprint Concept For Sustainable Seafood Production*. A Review Ecological Application, pp. 563 – 571.
- McLusky, W., (1989), *The production of organic detritus in a south Florida Estuary*, Ph.D. disertation, Univ.Miami.
- Mulyadi, Indiarto, Y. Dan Yusuf, R., (1986), *Ekosistem Hutan Mangrove*, Puslitbang-LIPI, Bogor.

