

PENDUGAAN BEBAN LIMBAH DARI BUDI DAYA BANDENG DALAM KERAMBA JARING APUNG DI LAUT

Rachmansyah, Usman, dan Daud S. Pongsapan

ABSTRAK

Penelitian bertujuan untuk menduga beban limbah yang berasal dari keramba jaring apung (KJA) bandeng di laut yang lepas ke dalam lingkungan perairan. Pendugaan beban limbah mengacu pada *mass balance model* yang didasarkan atas data hasil analisis proksimat pakan, kecernaan pakan, retensi nutrisi, rasio konversi pakan, produksi biomassa ikan, dan total partikel organik. Beban nutrisi dari KJA bandeng yang terbuang ke lingkungan perairan masing-masing mencapai 43,56 kg nitrogen; 31,00 kg fosfor; dan 148,41 kg karbon/ton produksi ikan. Untuk itu, pakan yang memenuhi persyaratan nutrisi, ekonomi, dan ekologi serta manajemen pakan yang efisien menjadi prioritas untuk dikembangkan dalam upaya minimasi beban nutrisi dari KJA bandeng.

ABSTRACT: *Waste load assessment from milkfish marine cage farming. By: Rachmansyah, Usman, and Daud S. Pongsapan*

The research aims at assessing waste load from milkfish marine cage farming into the surrounding environment. A mass balance model has been used to estimate the rate of waste load by cultivated milkfish. The assessment was based on the data of milkfish feed, feces, and carcass proximate analysis as well as on feed conversion ratio, nutrient retention, digestibility's, fish biomass, and total mass of particulate organic matter. The farm discharged 43.56 kg nitrogen and 31.00 kg phosphorous and 148.41 kg carbon per ton milkfish produced. Further, cost effective feed, and efficient feeding management are the priorities to apply for minimizing nutrient load from milkfish farm.

KEYWORDS: *nutrient load, milkfish, marine cage farming*

PENDAHULUAN

Di antara berbagai penyebab penurunan kualitas lingkungan perairan pesisir adalah buangan limbah budi daya ikan selama operasional yang mengandung konsentrasi tinggi bahan organik dan nutrisi sebagai konsekuensi dari masukan pakan yang menghasilkan sisa pakan dan feses yang terlarut ke dalam perairan sekitarnya (Johnsen *et al.*, 1993; Buschmann *et al.*, 1996; McDonald *et al.*, 1996; Boyd *et al.*, 1998; Horowitz & Horowitz, 2000; Montoya & Velasco, 2000; Goldberg *et al.*, 2001). Dalam perikanan budi daya secara komersial sebanyak 30% dari total pakan yang diberikan tidak dikonsumsi oleh ikan dan sekitar 25%-30% dari pakan yang dikonsumsi tersebut akan diekskresikan (McDonald *et al.*, 1996). Jumlah Nitrogen (N) dan Fosfor (P) yang ada dalam pakan akan diretensikan dalam daging ikan antara 25%-30%, selebihnya terbuang ke lingkungan perairan (Bergheim *et al.*, 1990 dalam McDonald *et al.*, 1996; Avnimelech, 2000).

Budi daya bandeng dalam keramba jaring apung (KJA) di laut sepenuhnya mengandalkan masukan pakan berupa pelet yang mencapai kisaran 60%--70% dari biaya operasional dengan konversi pakan antara 2,0--2,5 (Ratnawati & Rachmansyah, 2000) sekaligus diduga sebagai pemasok limbah nutrisi yang potensial. Pakan yang diberikan sebagian besar akan dimanfaatkan oleh ikan. Melalui proses pencernaan akan diperoleh energi dan nutrisi yang tersimpan dalam jaringan ikan sebagai biomassa. Sisanya akan terbuang sebagai hasil ekskresi baik dalam bentuk terlarut maupun feses yang terbuang ke dalam badan air dan mengalami proses pelarutan, sedimentasi, mineralisasi, dan dispersi. Sementara sisa pakan yang tidak termakan akan mengalami pelarutan, pemangsaan oleh hewan lain, serta sedimentasi. Sisa pakan dan feses yang terbuang ke dalam badan air merupakan potensi sumber bahan organik N, P yang dapat mempengaruhi tingkat kesuburan (eutrofikasi) dan kelayakan kualitas air bagi kehidupan ikan budi daya, sekaligus sebagai salah satu aspek penentu

optimasi alokasi sumber daya perikanan budi daya yang berkelanjutan. Untuk mengantisipasi penurunan kelayakan habitat dan dampaknya terhadap lingkungan perairan wilayah pesisir, maka pendugaan beban limbah nutrisi dari kegiatan perikanan budi daya penting untuk dilakukan.

METODE PENELITIAN

Pendugaan beban limbah organik, N dan P dari sistem budi daya bandeng dalam KJA di laut telah dilakukan di Teluk Awerange, Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan dengan tahapan sebagai berikut:

Uji Kecernaan Pakan Bandeng

Uji ini dimaksudkan untuk memperoleh koefisien pencernaan N, P, dan karbon (C) dari pakan komersial ikan bandeng. Uji pencernaan pakan mengacu pada metode yang dikemukakan oleh Watanabe (1988) dan Allan *et al.* (1999). Terdapat tiga jenis pakan komersial bandeng yang diuji yaitu P-783, P-784, dan P-785, dilakukan secara bertahap untuk setiap jenis pakan, masing-masing tiga kali ulangan. Jumlah ikan uji setiap wadah percobaan adalah 50 ekor/keramba ukuran 1 x 1 x 1,2 m³. Bobot ikan uji adalah 50--100 g/ekor untuk jenis pakan P-783, 200--250 g/ekor P-784, dan 350--400 g/ekor P-785. Adaptasi pakan uji dilakukan selama 7 hari, diikuti dengan pengumpulan feses selama 3--5 hari (tergantung jumlah feses yang terkoleksi). Pakan diberikan dua kali sehari secara satiasi. Koleksi feses dilakukan pada jam ke-3 setelah pemberian pakan dengan interval 3 jam, yaitu jam ke-6 dan jam ke-9. Sampel feses disimpan dalam refrigerator sebelum dianalisis atau langsung dikeringkan dalam *freeze dried*. Analisis proksimat pakan dan feses meliputi protein kasar, kadar air, kadar abu, dan P (AOAC, 1990), serta *chromic axide* ditentukan dengan metode yang dikemukakan oleh Watanabe (1988). *Apparent Digestibility Coeficient* (ADC) dihitung dengan formula Watanabe (1988) dan Allan *et al.* (1999), sebagai berikut:

$$ADC = [1 - (F/D \times DC_r \times FC_r)] \times 100$$

dengan:

- F = % nutrisi (N,P,C) dalam feses
- D = % nutrisi (N,P,C) dalam pakan
- DC_r = % chromic axide dalam pakan
- FC_r = % chromic axide dalam feses

Produksi Bandeng dalam KJA

Keragaan budi daya bandeng dalam KJA di laut diperoleh dengan cara pengamatan dan pencatatan praktek budi daya bandeng di Teluk Awerange

Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan. Jumlah keramba sebanyak 10 unit masing-masing berukuran 2 x 2 x 2,2 m³ dengan kepadatan ikan 500 ekor/keramba. Pakan komersial bandeng tipe terapung diberikan dengan dosis menurun dari 5%--2% bobot biomassa selama pemeliharaan 150 hari. Peubah yang diamati meliputi bobot awal, bobot akhir, produksi biomassa, laju pertumbuhan harian, manajemen pakan, dan rasio konversi pakan (RKP). Proksimat pakan dan karkas bandeng saat tebar (50 g/ekor) dan panen (500--550 g/ekor), dianalisis untuk mengetahui retensi nitrogen, fosfor, dan karbon. Analisis proksimat meliputi protein kasar (Mikro Kjeldahl), lemak kasar (Ekstraksi Soxhlet), serat kasar (Fibretex), kadar abu (Muffle), kadar air (pengeringan oven), dan fosfor (Spektrofotometer).

Retensi nutrisi dihitung dengan formula Watanabe (1988) sebagai berikut:

$$\text{Retensi nutrisi (\%)} = \frac{\text{NutWt} - \text{NutWo}}{\text{NutPkn}} \times 100$$

dengan:

- NutWt = nutrisi (N,P,C) karkas bandeng akhir
- NutWo = nutrisi (N,P,C) karkas bandeng awal
- NutPkn = nutrisi (N,P,C) pakan

Pendugaan Kuantitatif Limbah Organik N dan P

Pengumpulan feses ikan dilakukan untuk ikan berbobot 50, 100, 200, 300, dan 400 g/ekor. Kolektor berbentuk kerucut terbuat dari bahan plankton net ukuran 25 mm dengan ukuran 2,5 x 2,5 m² dipasang di bawah keramba selama 24 jam. Feses dikoleksi, dikeringkan, dan analisis kadar air, bobot kering, kandungan N, P, dan C.

Pendugaan beban limbah menggunakan pendekatan *mass balance model* (Barg, 1992). Pendugaan total bahan organik dihitung berdasarkan metode yang dikemukakan Iwama (1991) dalam Barg (1992) dengan mengacu pada total pakan yang tidak dikonsumsi dan feses.

- UW = persentase pakan yang tidak dimakan (rasio total pakan yang tidak dimakan terhadap total pakan yang diberikan)
- F = persentase feses (rasio total feses terhadap total pakan yang dimakan)
- RKP = rasio konversi pakan (bobot pakan yang dimakan/pertambahan bobot biomassa)
- PD = produksi (penambahan biomassa ikan)
- O = total *output* bahan organik partikel

dengan:

- TF = total pakan yang diberikan = PD x FCR
- TU = total pakan yang tidak dimakan = TF x UW
- TE = total pakan yang dimakan = TF - TU
- TFW = total limbah feses = F x TE
- O = TU + TFW

Pendugaan kuantitatif limbah N dan P didasarkan atas data kandungan N dan P dalam pakan, rasio konversi pakan, kandungan N dan P dalam karkas bandeng dan biomassa ikan. Pendugaan beban total N dan P mengacu pada metode Ackefors & Enell (1990) dalam Barg (1992) yaitu:

Persamaan untuk beban total P adalah:

$$\text{kg P} = (A \times \text{Cdp}) - (B \times \text{Cfp})$$

Persamaan untuk beban total N adalah:

$$\text{kg N} = (A \times \text{Cdn}) - (B \times \text{Cfn})$$

dengan:

- A = bobot basah pelet kering yang digunakan (normal kadar air dalam pelet kering adalah 8%--10%)
- B = bobot basah bandeng yang diproduksi
- Cd = kandungan P (Cdp) dan N (Cdn) dari pelet kering diekspresikan sebagai % bobot basah
- Cf = kandungan P (Cfp) dan N (Cfn) dari karkas ikan, diekspresikan sebagai % bobot basah

HASIL DAN BAHASAN

Kecernaan Pakan

Hasil analisis proksimat pakan (Tabel 1) diperoleh kandungan protein pakan P783 adalah 25,65% untuk pemeliharaan bulan ke-1 dan 2 (*starter*); 20,51% (P784) untuk pemeliharaan bulan ke-3 dan 4 (*grower*); serta 16,38% (P785) untuk pemeliharaan bulan ke-5

(*finisher*). Umumnya kebutuhan protein ikan menurun dengan meningkatnya ukuran dan umur ikan (Halver, 1989; Boonyaratpalin, 1991). Hal ini terkait dengan laju pertumbuhan ikan yang lebih tinggi pada ukuran ikan lebih kecil sehingga kebutuhan protein lebih besar dibandingkan dengan ikan berukuran besar. Laju pertumbuhan harian bandeng berbobot 50--200 g/ekor mencapai 2,53%; menurun menjadi 1,35% pada bobot ikan 200--400g/ekor; dan 0,61% pada bobot ikan 400--500g/ekor (Pongsapan *et al.*, 2001).

Kandungan P pakan bandeng antara 1,13%--1,67%. Fosfor adalah elemen esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan normal ikan (Phillips *et al.*, 1993) dan oleh organisme hidup lainnya di mana keberadaannya di dalam badan air dalam bentuk partikel maupun terlarut. Fosfor dibutuhkan untuk pertumbuhan optimum, efisiensi pakan, pembentukan tulang, dan memelihara regulasi asam-basa di dalam ikan (Kibria *et al.*, 1996). Oleh karena keberadaannya dalam perairan sangat terbatas maka fosfor harus ditambahkan ke dalam pakan ikan (Lall, 1991 dalam Kibria *et al.*, 1996), sehingga pakan merupakan sumber utama beban fosfor dari kegiatan budi daya ke lingkungan (Seymour & Bergheim, 1991; Phillips *et al.*, 1993). Berbagai macam jenis mineral mix komersial telah digunakan dalam memformulasi pakan buatan ikan bandeng dengan dosis antara 0,5%--3,5% dan menghasilkan pertumbuhan yang normal (Alava & Lim, 1988; Lim, 1991 dalam Boonyaratpalin, 1997).

Kecernaan N, P, C, dan bahan kering pakan bandeng untuk setiap stadia pemeliharaan yang dicirikan oleh bobot ikan, memiliki nilai cukup tinggi masing-masing 93,76% ± 1,0% N; 86,01% ± 4,71% P; 96,28% ± 0,72% C; dan 85,51% ± 0,37% bahan kering (Tabel 2). Hal ini menggambarkan bahwa komponen bahan baku pakan bandeng memiliki

Tabel 1. Analisis proksimat (% bahan kering) pakan, feses, dan karkas bandeng
Table 1. Proximate analysis (% dry weight) of feed, feces, and carcass of milkfish

Kode (Code)	Protein kasar Crude protein	Lemak kasar Crude fat	Serat kasar Crude fiber	Kadar abu Ash	BETN	N	P	C
Pakan (Feed)								
P783	25.65	2.77	8.05	15.32	48.21	4.10	1.67	8.71
P784	20.51	2.56	8.73	12.75	55.45	3.28	1.64	7.89
P785	16.38	2.54	8.81	9.33	62.94	2.62	1.13	5.49
Rataan (Average)	20.85	2.62	8.53	12.47	55.53	3.33	1.48	7.36
Karkas (Carcass)								
KKWo	55.50	21.10	0.29	8.09	15.07	8.88	0.05	7.61
KKWt	68.97	23.68	0.27	6.11	1.02	11.03	1.04	4.14

- KKWo : Karkas pada awal percobaan (*Initial carcass*)
- KKWt : Karkas pada akhir percobaan (*Final carcass*)

Tabel 2. Kecernaan N,P,C, dan bahan kering pakan bandeng
 Tabel 2. *Apparent digestibility of N, P, C, and dry matter of milkfish feed*

Pakan (Feed)	Bobot ikan Fish weight (g/pes)	N (%)	P (%)	C (%)	Bahan kering Dry matter (%)
P783	50	94.11 ± 0.83	92.57 ± 0.09	96.77 ± 0.44	85.37 ± 1.25
	100	94.95 ± 0.61	85.96 ± 1.25	96.73 ± 0.43	85.56 ± 1.08
P784	200	93.72 ± 0.47	86.36 ± 1.59	96.59 ± 0.72	85.11 ± 1.17
	300	93.81 ± 0.38	85.91 ± 1.74	96.19 ± 0.87	85.37 ± 1.04
P785	400	92.19 ± 0.88	79.27 ± 3.00	95.11 ± 1.33	85.99 ± 0.70
Rataan (Average)		93.76	86.01	96.28	85.51
Simpangan baku (S.D.)		1.00	4.71	0.72	0.37

kualitas yang baik bagi pertumbuhan ikan bandeng yang dibudidayakan dalam KJA di laut. Namun nilai kecernaan ini masih perlu dipadukan dengan nilai retensi nutrisi dalam karkas bandeng yang mengindikasikan kemampuan ikan bandeng memanfaatkan nutrisi pakan bagi proses metabolisme dan pertumbuhan. Nilai kecernaan bahan kering pakan mencapai 85,51% dan dapat dijadikan indikator jumlah limbah padat (feses) ikan yang dihasilkan. Karena itu, nilai kecernaan dan retensi pakan menjadi peubah penting untuk digunakan dalam pendugaan beban limbah budi daya.

Respons Biologi Bandeng

Selama masa pemeliharaan 150 hari terjadi penambahan bobot biomassa dari 25 kg/keramba menjadi 250 kg/keramba dengan rata-rata laju pertumbuhan harian 1,61% dan rasio konversi pakan 2,3 serta sintasan mencapai 91% (Tabel 3). Laju pertumbuhan harian yang didapatkan dalam penelitian ini relatif sama dengan hasil penelitian sebelumnya di Teluk Labuange, Kabupaten Barru yaitu 1,50% (Pongsapan *et al.*, 2001) dan di Teluk Pegametan, Bali yaitu 1,67% (Rachmansyah *et al.*, 2002).

Hasil analisis proksimat karkas bandeng pada bobot awal antara 50--100 g/ekor. (Wo) memiliki kandungan N, P, dan C masing-masing 8,88%; 0,05%; dan 7,61%. Sedangkan karkas bandeng berbobot antara 500--550 g/ekor pada akhir pemeliharaan (Wt) memiliki kandungan N, P, dan C masing-masing 11,03%; 1,04%; dan 4,14% (Tabel 1). Nilai proksimat karkas bandeng akan digunakan untuk menghitung retensi N, P, dan C pakan. Retensi N, P, dan C dalam karkas bandeng masing-masing mencapai 44,09%; 9,94%; dan 13,33% (Tabel 3). Jika dibandingkan dengan nilai kecernaan N yang mencapai 93,76% dan kecernaan P mencapai 86,01%; hal ini mengindikasikan bahwa nutrisi yang dicerna cukup

baik, namun sebagian besar dimanfaatkan untuk proses metabolisme dasar dan aktivitas lainnya.

Phillips (1985) dalam Cornel & Whoriskey (1993) melaporkan sekitar 86% P pakan akan menjadi limbah dengan rasio konversi pakan 2:1 dan hanya sekitar 14% P akan diretensikan dalam ikan *rainbow trout* (*Onchorhynchus mykiss*). Beberapa hasil penelitian yang dikutip Kibria *et al.* (1996) menyebutkan sumber fosfat yang digunakan dalam pakan berpengaruh nyata terhadap retensi fosfat. Sebagai contoh, *defluorinated rock phosphate* (DRP) menghasilkan pertumbuhan yang lebih baik pada ikan *rainbow trout* dengan mereduksi 46% fosfat dalam buangan limbah budi daya, dibandingkan dengan *dicalcium phosphate*. Ketersediaan fosfat secara biologis dalam pakan dipengaruhi oleh kecernaan pakan, ukuran partikel pakan, interaksi dengan nutrisi lainnya, proses pembuatan pakan, dan kimia perairan (Lall, 1991 dalam Kibria *et al.*, 1996).

Jumlah feses bandeng yang dihasilkan untuk berbagai ukuran ikan relatif sama berkisar antara 14,01%--14,89% bobot kering pakan dengan kandungan N, P, dan C masing-masing 1,46%; 1,45%; dan 1,94% (Tabel 4). Tidak diperoleh hubungan yang nyata antara bobot ikan dengan jumlah feses yang dihasilkan, berarti formulasi pakan untuk ketiga ukuran pakan cukup memenuhi kebutuhan nutrisi ikan yang ditandai dengan kecernaan bahan kering pakan yang relatif sama yaitu 85,51 ± 0,375 (Tabel 2). Feses yang berasal dari pakan pelet cenderung mengandung lapisan berupa selaput lendir sehingga berpengaruh terhadap karakteristik pengendapan dan degradasinya. Jumlah feses yang keluar diduga dipengaruhi oleh sistem pencernaan bandeng dengan panjang usus antara 2--3 kali panjang tubuhnya akan membutuhkan waktu cukup lama untuk mencerna pakan yang dimakan, sehingga feses akan dikeluarkan secara bertahap dalam proporsi yang seimbang.

Tabel 3. Keragaan budi daya bandeng dalam KJA di laut (rata-rata dari 10 unit keramba) di Teluk Awerange, Barru

Table 3. Performance of milkfish marine cage culture (average from 10 cages) in Awerange Bay, Barru

Item (Items)	Pemeliharaan hari ke- (Rearing period Days-)					
	0	30	60	90	120	150
Jumlah (ekor/keramba) <i>Number of fish (pcs/cage)</i>	500	475	460	455	455	455
Bobot (g/ekor) <i>Body weight (g/pcs)</i>	50	150	300	425	500	550
Biomass (kg/keramba) <i>Fish biomass (kg/cage)</i>	25	71	138	193	227	250
Sintasan (%) <i>Survival rate (%)</i>	100	95	92	91	91	91
Pakan %BW <i>Feed given (%BW)</i>	5	4	3	2.50	2	-
Jumlah pakan (kg) <i>Total feed (kg)</i>	-	37.50	85.50	123	141	136
Rasio konversi pakan = Jumlah pakan (Bobot akhir – bobot awal) <i>Feed conversion ratio = Feed intake (Final weight – initial weight)</i>						2.30
Laju pertumbuhan spesifik (%/hari) = $\{(Wt/Wo)^{1/t} - 1\} \times 100$ <i>Specific growth rate (%/day)</i>						1.61
Retensi nutrisi (%) <i>Nutrient retention (%)</i>						
- N						44.09
- P						9.94
- C						13.33

Tabel 4. Produksi feses ikan bandeng pada ukuran ikan yang berbeda

Table 4. Feces waste production at different size of milkfish

Bobot ikan (g/ekor) <i>Body weight (g/pcs)</i>	Persentase feses terhadap pakan <i>Percent feces on total feed (% DW ± sd)</i>	N (%)	P (%)	C (%)
50	14.63 ± 1.25	1.65 ± 0.17	0.85 ± 0.07	1.94 ± 0.32
100	14.44 ± 1.08	1.43 ± 0.12	1.63 ± 0.12	1.97 ± 0.21
200	14.89 ± 1.17	1.39 ± 0.12	1.51 ± 0.19	1.81 ± 0.36
300	14.63 ± 1.04	1.39 ± 0.06	1.58 ± 0.14	2.06 ± 0.48
400	14.01 ± 0.70	1.46 ± 0.12	1.67 ± 0.17	1.91 ± 0.45
Rataan (Average)	14.52	1.46	1.45	1.94

Produksi feses ikan bandeng sebesar 14,52% relatif sama dengan hasil penelitian Davies & Slaski (2002) pada ikan *Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus)* yang melaporkan produksi limbah partikel organik antara 11,45%--15,26% dari total pakan yang diberikan atau sama dengan 150--200 kg/t produksi ikan pada RKP 1,31 dengan laju produksi feses 28,8 mg/kg/jam. Hasil penelitian ini diperoleh

limbah partikel organik (feses) ikan bandeng sebanyak 337,30 kg/t produksi ikan dengan nilai RKP 2,3. Semakin tinggi nilai RKP, produksi beban limbah organik cenderung meningkat. Menurut Davies (2002), laju produksi limbah merupakan dasar utama pendugaan daya dukung lingkungan ikan budi daya dan acuan untuk mengembangkan regulasi sektor budi daya laut.

Berdasarkan karakteristik pakan, fekes, dan karkas bandeng serta nilai parameter yang diperoleh dari kegiatan pembesaran bandeng dalam KJA (bobot awal, bobot akhir, RKP, produksi biomassa bandeng, persentase pakan yang terbuang), uji kecernaan pakan (bahan kering, N, dan P) akan digunakan sebagai acuan untuk mengetahui alur pemanfaatan nutrisi pakan. Semua parameter yang dibutuhkan untuk pendugaan beban limbah budi daya bandeng dirangkum pada Tabel 5.

Pendugaan Beban Limbah Budi daya Bandeng dan Alur Pemanfaatan Nutrien Pakan

Dalam proses budi daya, pakan yang diberikan kepada ikan tidak semuanya akan dimakan oleh ikan. Sekitar satu persen pakan yang diberikan tidak dimakan oleh bandeng dan lepas ke lingkungan perairan (Tabel 5). Persentase pakan terapung yang tidak termakan sebesar satu persen relatif kecil jika

Tabel 5. Nilai parameter penduga beban limbah budi daya ikan bandeng dalam keramba jaring apung di laut
 Table 5. Parameters value of waste load assessment from milkfish marine cage farming

Parameter (Parameters)	Nilai (Value)
Rasio konversi pakan (RKP) <i>Feed conversion ratio (FCR)</i>	2.3
Kandungan N pakan (%) <i>N feed content (%)</i>	3.33
Kandungan P pakan (%) <i>P feed content (%)</i>	1.48
Kandungan C pakan (%) <i>C feed content (%)</i>	7.36
Bobot awal ikan (g/ekor) <i>Initial body weight of fish (g/pcs)</i>	50
Bobot akhir ikan (g/ekor) <i>Final body weight of fish (g/pcs)</i>	550
Jumlah pakan yang dikonsumsi (kg/ton ikan) <i>Feed consumption (kg/t fish produced)</i>	2,300
Pakan yang terbuang (kg/ton ikan) <i>Food lost (kg/t fish produced)</i>	23
Kebutuhan N untuk memproduksi 1 ton ikan (kg N/ton ikan) <i>N feed requirement (kg N/t fish produced)</i>	76.59
Kebutuhan P untuk memproduksi 1 ton ikan <i>P feed requirement (kg P/t fish produced)</i>	34.04
Kebutuhan C untuk memproduksi 1 ton ikan <i>C feed requirement (kg C/t fish produced)</i>	169.28
Kecernaan bahan kering pakan (%) <i>Dry matter digestibility (%)</i>	85.51
Kecernaan N pakan (%) <i>N digestibility (%)</i>	93.76
Kecernaan P pakan (%) <i>P digestibility (%)</i>	86.01
Kecernaan C pakan (%) <i>C digestibility (%)</i>	96.2
Retensi N (%) <i>N retention (%)</i>	44.09
Retensi P (%) <i>P retention (%)</i>	9.94
Retensi C (%) <i>C retention (%)</i>	13.33

dibandingkan dengan pakan tenggelam yang mencapai 10%--20% dari total pakan yang diberikan. Findlay & Watling (1994) dalam Silvert & Sowles (1996) melaporkan bahwa sekitar 10%--30% pakan ikan salmon yang diberikan tidak dikonsumsi dan tenggelam ke dasar perairan. Jenis pakan, nafsu makan ikan, teknik pemberian pakan, dan kelengkapan sarana keramba wadah budi daya akan mempengaruhi banyaknya pakan yang tidak dimanfaatkan oleh ikan.

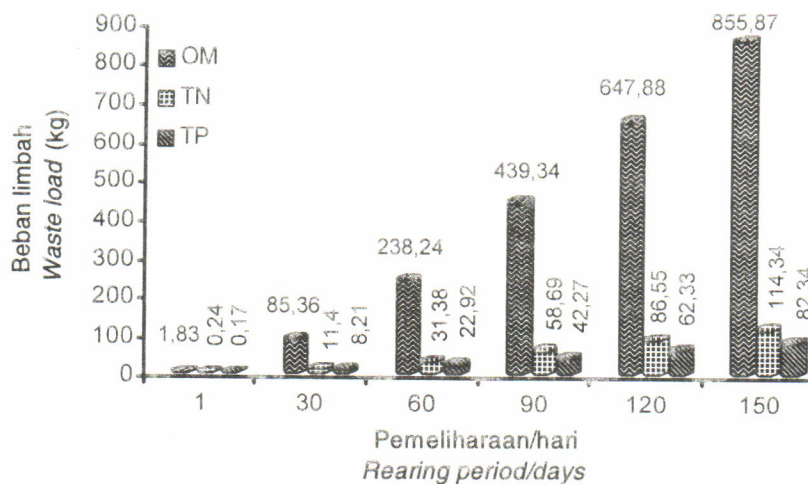
Selama pemeliharaan bandeng (150 hari), prediksi beban limbah organik (OM), total nitrogen (TN), dan total fosfor (TP) dari 10 unit keramba dengan total produksi bandeng sekitar 2.612 kg per siklus pemeliharaan, masing-masing mencapai 855,9 kg OM; 114,34 kg TN; dan 82,34 kg TP (Gambar 1). Beban limbah budi daya ditentukan oleh besaran parameter produksi biomassa, jumlah pakan, proporsi pakan yang tidak termakan, retensi nutrisi, serta pencernaan pakan.

Untuk memproduksi satu ton ikan bandeng dibutuhkan pakan sebanyak 2.300 kg (RKP 2,3) dengan kandungan N, P, dan C pakan masing-masing sebanyak 77,35 kg N; 34,38 kg P; dan 170,97 kg C. Pakan yang terbuang sebanyak 23 kg atau sebanyak 0,76 kg N; 0,34 kg P; dan 1,69 kg C akan terbuang ke lingkungan perairan. Jumlah feses yang dihasilkan mengandung 4,76 kg N; 4,76 kg P; dan 6,43 kg C juga terbuang ke perairan. Dari 76,59 kg N; 34,04 kg P; dan 169,28 kg C yang dimakan, sisanya sebanyak 71,81 kg N; 29,28 kg P; dan 162,85 kg C akan dicerna. Dalam proses metabolisme ikan, sebanyak 38,04 kg N; 25,90 kg P; dan 140,29 kg C akan diekskresikan dan sisanya masing-masing 33,77 kg N; 3,38 kg P; dan 22,56 kg C akan diretensikan ke dalam daging bandeng. Dengan demikian beban limbah budi daya

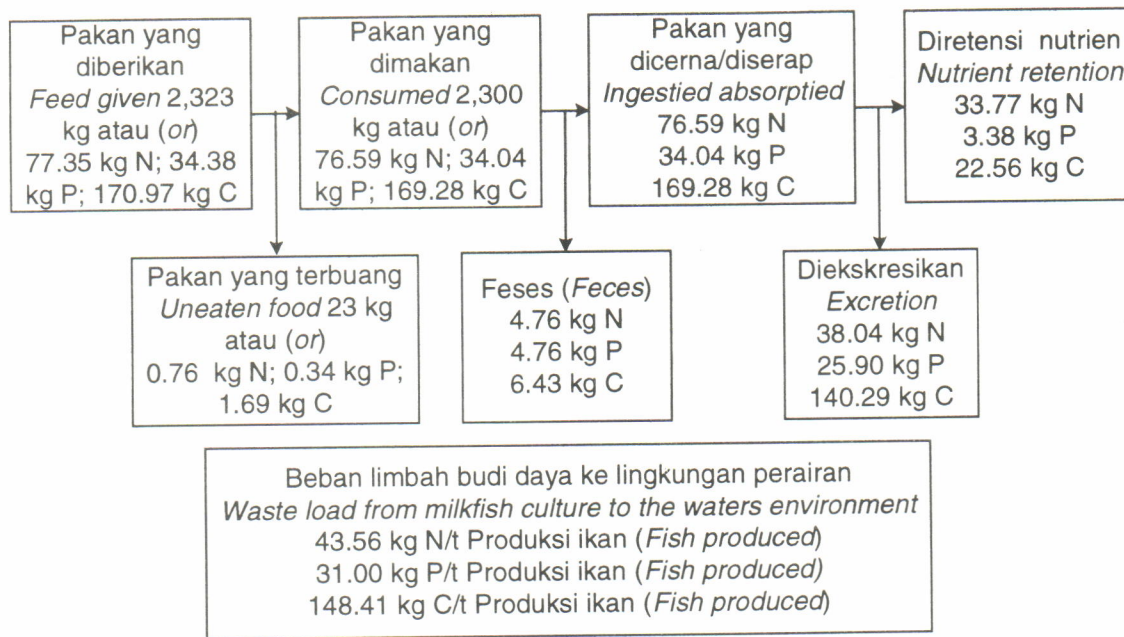
bandeng dalam KJA di laut masing-masing 43,56 kg N/ton produksi ikan, 31 kg P/ton produksi ikan dan 148,41 kg C/ton produksi ikan (Gambar 2).

Hanya sekitar 44,09% N; 9,94% P; dan 13,33% C dari pakan yang dimakan akan tersimpan dalam karkas ikan bandeng, sisanya masing-masing 59,91% N; 90,06% P; dan 86,67% C akan terbuang melalui feses dan ekskresi serta terlarut dalam perairan. Retensi N cukup tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian lainnya yang berkisar antara 15%--30% (Lampiran 1). Diduga kandungan protein pakan bandeng relatif rendah yaitu 20,8% dan telah mampu memberikan pertumbuhan yang tinggi. Sifat herbivora ikan bandeng cenderung mampu memanfaatkan karbohidrat pakan sebagai sumber energi dibandingkan dengan ikan karnivora maupun omnivora, sehingga lebih efisien di dalam memanfaatkan protein pakan.

Kandungan P pakan komersial bandeng relatif tinggi yaitu 1,48% dan dibutuhkan sebanyak 34,04 kg P/ton ikan. Dari total P pakan yang dibutuhkan hanya 9,94% (3,38 kg/ton ikan) yang diretensikan, sisanya sebanyak 90,06% terbuang ke dalam perairan. Retensi P pakan dalam penelitian ini relatif rendah 9,94% dibandingkan hasil penelitian lainnya yang berkisar antara 12%--30% (Lampiran 1). Diduga sumber bahan baku pakan komersial ikan bandeng banyak berasal dari bahan nabati. Sebagian besar P dalam bahan pakan yang berasal dari derivat tanaman terikat dalam bentuk phytat yang dapat menghambat absorpsi fosfor dalam usus (Hardy, 2000). Sebagai contoh tepung kedelai dan bahan baku pakan nabati banyak mengandung phytat yang disimpan dalam bentuk molekul dan susah dicerna oleh ikan dan hewan lainnya yang memiliki anatomi usus yang sederhana (Ramseyer & Garling, 2002). Melalui proses pencernaan, phytat sebagai sumber P akan



Gambar 1. Beban limbah budi daya bandeng pada produksi 2.612 kg bandeng selama satu siklus pemeliharaan
 Figure 1. Waste load at a farm producing 2,612 kg milkfish during one cycle cultivation



Gambar 2. Pendugaan alur pemanfaatan N, P, dan C dan beban nutrisi untuk memproduksi satu ton ikan bandeng dalam KJA di laut

Figure 2. The estimated flux of N, P, and C and nutrient loading from milkfish marine cage with production of one tone

dihidrolisis oleh enzim phytase untuk menghasilkan asam phytat dan melepaskan P. Akan tetapi pada ikan, ketersediaan enzim fitase sangat terbatas sehingga pencernaan P dari bahan nabati sangat rendah (De Silva & Anderson, 1995). Phytat dilaporkan mengurangi pencernaan protein dan menghambat ketersediaan mineral pada ikan *rainbow trout* (Spinelli *et al.*, 1983; Riche & Brown, 1996), ikan coho dan chinook salmon (Ramseyer, 1998). Phytat pakan akan mengganggu pemanfaatan protein dan mineral dalam tubuh ikan dengan cara mengikat Zn dan menimbulkan defisiensi Zn. Defisiensi Zn dapat mengurangi pemanfaatan protein dan mineral melalui pengurangan sekresi insulin, sensitivitas insulin, dan aktivitas enzim pencernaan *carboxypeptidase B* dan *alkaline phosphatase* (Ramseyer, 1998). Phytat P yang tidak tercerna akan diekskresikan oleh feses ke dalam lingkungan. Ikan mengekskresi fosfat dalam berbagai bentuk, umumnya dibagi ke dalam bentuk terlarut dan partikel. Bentuk terlarut adalah fosfat organik dan fosfat (PO_4^{3-}) yang secara langsung akan mempengaruhi kualitas air. Bentuk partikel akan terakumulasi di dalam limbah dan akan melepaskan fosfat secara perlahan-lahan (De Silva & Anderson, 1995). Peningkatan efisiensi pakan dan pertumbuhan ikan melalui pemanfaatan kandungan protein bahan nabati pakan dapat dilakukan dengan menyediakan bahan baku pakan yang mudah dicerna seperti karbohidrat rantai pendek, mengoptimal kebutuhan rasio protein:energi, dan meningkatkan ketersediaan

P dalam pakan melalui bioprosesing dan pemilihan bahan baku berkualitas sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan budi daya.

Konsentrasi total P dalam feses ikan *rainbow trout* adalah 8,25 mg P/g bobot kering atau sekitar 50% dari total P pakan yaitu 16,06 mg P/g bobot kering (Garcia-Ruiz & Hall, 1996), sementara Phillips (1985) dalam Cornel & Whoriskey (1993) memprediksi 86% P pakan akan menjadi limbah dengan asumsi rasio konversi pakan 2:1. Phillips *et al.* (1993) mengestimasi pelepasan P pakan dan feses dari budi daya ikan Atlantic salmon akan memberikan kontribusi kurang dari 10% dari seluruh limbah P ke dalam perairan. Ramseyer (1998) mendapatkan 37,7% P pakan akan diretensikan dalam daging ikan; 21,0% terbuang melalui feses; dan 41,3% terbuang dalam bentuk terlarut.

Kehilangan P yang utama adalah bersumber dari feses dan pakan yang tidak termakan, namun pelepasan P ke dalam lingkungan perairan tergantung pada karakteristik fisika-kimia perairan seperti pH, temperatur, oksigen, turbulensi, dan aktivitas mikroba (Persson 1988 dalam Kibria *et al.*, 1996). Semakin rendah pH air maka kehilangan P semakin besar (Kibria *et al.*, 1996).

Weismann *et al.* (1988) melaporkan bahwa laju beban P dari kegiatan budi daya ikan salmon berkisar 4--18,8 kg/t/th. Beberapa hasil penelitian yang dikutip oleh McDonald *et al.* (1996), menyebutkan antara 6--

29 kg/t/th tergantung pada ukuran ikan, jenis pakan, kandungan P dalam pakan, temperatur air, dan rasio konversi pakan. Buschmann *et al.* (1996) melaporkan bahwa untuk memproduksi 100 ton ikan salmon, akan dihasilkan sebanyak 7.800 kg N dan 950 kg P per hari yang terbuang ke lingkungan perairan, tergantung pada manajemen pakan dan kualitas pakan yang digunakan.

Wu (1995) melaporkan bahwa sekitar 21% N, 53% P, dan 23% C pakan yang masuk ke dalam sistem budi daya ikan akan terakumulasi di dasar perairan sebagai sedimen. Hasil penelitian lain menyebutkan sekitar 52%--95% N, 85% P, dan 80%--88% C dari input pakan akan lepas ke lingkungan perairan melalui limbah pakan, feses, eksresi, dan respirasi ikan (Wu www.khu.hk/civil/deptactivities/asi/abspdf/absrrwu.pdf, 2002) dan berpengaruh nyata terhadap tingginya kebutuhan oksigen sedimen, anoxic sedimen, produksi gas-gas beracun, dan pengurangan keragaman benthos (Silvert & Sowles, 1996). Beberapa hasil penelitian yang dikutip Wu (1995), melaporkan alur dan keseimbangan massa dari N, P, dan C untuk budi daya ikan salmon mengindikasikan bahwa, 76% N, 82% P, dan 80% C pakan yang masuk ke dalam sistem budi daya akan hilang ke lingkungan perairan. Total N yang hilang ke lingkungan diperkirakan antara 95--102 kg N/ton produksi ikan, dan deposit limbah budi daya akan menutupi sekitar 3,8 kali luasan budi daya itu sendiri. Limbah dalam bentuk partikel (sisa pakan dan feses) akan mengendap di dasar perairan dan cenderung berdampak pada kehidupan benthos, sedangkan partikel halus akan meningkatkan turbiditas sekitar lokasi budi daya (Silvert & Sowles, 1996).

Davies & Slaski (2002) memprediksi produksi limbah partikel organik dari budi daya ikan *Atlantic halibut* adalah 150--200 kg/ton produksi ikan dan nitrogen terlarut 48 kg N/ton produksi ikan. Penelitian lain menyebutkan nitrogen terlarut yang dilepas dari budi daya *Atlantic salmon* antara 35--45 kg N/ton produksi ikan (Davies, 2002). Untuk ikan kerapu bebek (*Cromileptes altivelis*) mencapai 138,4 kg N/ton produksi atau 81,89% dari total N pakan dan 29,6 kg P/ton produksi atau 87,83% dari total P pakan (Usman *et al.*, 2002). Tingginya beban limbah N pakan kerapu bebek disebabkan kandungan N pakan cukup tinggi mencapai 7,68% N dan kandungan P pakan 1,53% P.

Hasil penelitian terkini menunjukkan bahwa beban limbah N dan P dari budi daya ikan salmon masing-masing 32 kg N/ton produksi dan 7 kg P/ton produksi salmon (Anonim, 2002). Batasan beban limbah total N dan total P untuk memproduksi satu ton ikan di perairan laut masing-masing tidak lebih dari 70 kg N dan 8 kg P/ton produksi ikan, dihitung berdasarkan

batas nilai 0,4% P dan 2,75% N bobot basah ikan (*HELCOM Recommendation 15/3*, 1997). Jika dibandingkan dengan beban limbah KJA bandeng yang menghasilkan N 43,56 kgN/ton ikan dan 31 kgP/ton ikan, maka beban limbah total P jauh di atas ambang yang direkomendasikan. Hal ini disebabkan tingginya kandungan P pakan yang mencapai 1,13%--1,67%; rendahnya retensi P (9,94%); dan bahan baku pakan yang bersumber dari bahan nabati diduga banyak mengandung phytat. Dampak nutrisi ke lingkungan perairan sekitarnya merupakan fungsi dari rasio konversi pakan, komposisi pakan, dan proses metabolisme di dalam tubuh ikan (Enell, 1995). Karena itu, optimasi kebutuhan P pakan untuk ikan bandeng melalui pengembangan komposisi bahan baku pakan dan teknologi pakan serta manajemen pakan dalam sistem budi daya menjadi prioritas untuk meminimasi beban limbah P yang terbuang ke lingkungan perairan.

Pengalaman perikanan budi daya salmon menunjukkan bahwa dalam periode 1974-1994, telah dilakukan perbaikan kualitas pakan dan rasionalisasi kebutuhan N dan P pakan. Kandungan N pakan menurun dari 7,8% menjadi 6,8% dan kandungan P pakan menurun dari 1,7% menjadi 0,7%. Perbaikan pakan ini dapat menurunkan konversi pakan dari 2,08 menjadi 1,25 dan beban limbah masing-masing 132 kg N dan 31 kg P/ton ikan (1974) menjadi 55 kg N dan 4,8 kg P/ton ikan pada tahun 1994 akibat perubahan komposisi pakan dan perbaikan konversi pakan (Enell, 1995). Kibria *et al.* (1996) menyebutkan bahwa terdapat hubungan linier yang positif erat antara laju kehilangan fosfor per ton ikan *silver perch* (*Bidayus bidyus*) dengan rasio konversi pakan (RKP). Karena itu, perbaikan RKP sangat penting untuk mereduksi beban limbah P dari sistem budi daya ke dalam perairan. Upaya ini akan memberikan kontribusi terhadap penghematan pemanfaatan sumber daya (tepung ikan dan minyak ikan) untuk kegiatan budi daya sekaligus mengurangi dampak nutrisi ke lingkungan perairan. Pengkayaan nutrisi yang berasal dari budi daya ikan menjadi perhatian yang serius di beberapa negara seperti Scandinavia dan Jepang karena aspek tersebut merupakan penentu utama untuk daya dukung lingkungan perairan dan acuan pengembangan dan pengaturan sektor budi daya laut (Silver & Sowles, 1996; Gillibrand *et al.*, 2002).

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa input pakan ke dalam sistem budi daya bandeng di KJA merupakan pemasok utama limbah bahan organik dan nutrisi ke lingkungan perairan. Beban limbah ini pada gilirannya dapat menyebabkan pengkayaan nutrisi dan bahan organik yang diikuti oleh eutrofikasi dan perubahan ekologi fitoplankton, peningkatan sedimentasi, siltasi, hypoxia, perubahan produktivitas, dan struktur komunitas benthos (Barg, 1992; Buschmann *et al.*, 1996).

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Beban limbah budi daya bandeng dalam KJA yang terbuang ke lingkungan perairan sebanyak 43,56 kg N/ton produksi ikan; 31 kg P/ton produksi ikan; dan 148,41 kg C/ton produksi ikan. Mengacu pada rekomendasi batasan beban limbah N dan P masing-masing 70 kg N/ton ikan dan 8 kg P/ton ikan, maka beban limbah P masih cukup tinggi dan berpotensi menimbulkan pengkayaan nutrien P ke dalam lingkungan perairan.
2. Mengingat masih tingginya beban limbah budi daya bandeng dari KJA, maka perlu pengembangan formulasi pakan yang *cost effective* dan *low polluting*. Upaya penurunan beban limbah melalui perbaikan keseimbangan nutrien pakan, pemilihan dan penggunaan bahan baku pakan yang memiliki tingkat pencernaan tinggi, teknik penyediaan bahan baku pakan melalui bioprosesing dan peran enzim untuk menghasilkan bahan baku pakan yang berkualitas, serta penerapan tata laksana budi daya yang bertanggung jawab menjadi prioritas untuk dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. 1990. *In Official Methods of Analysis*, 15th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., p. 911--917.
- Alava, V.R. and C. Lim. 1988. Artificial diets for milkfish, *Chanos chanos* (Forsk.) fry reared in seawater. *Aquaculture*, 71: 339 pp.
- Allan, G.L., S.J. Rowland, S. Parkinson, D.A.J. Stone, and W. Jantrarotai. 1999. Nutrient digestibility for juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus*: development of methods. *Aquaculture*, 170: 131--145.
- Avnimelech, Y. 2000. Nitrogen control and protein recycling: Activated suspension ponds. *Advocate*, 3(2): 23--24.
- Anonymus. 2002. Do fish farms pollute the marine environment?. www.aqua-media.org/home/FAQ/Answers/ans15en.asp [7 Maret 2002].
- Barg, U.C. 1992. Guidelines for the promotion of environmental management of coastal aquaculture development. *FAO Fisheries Technical Paper 328*, FAO, Rome. 122 pp.
- Boonyaratpalin, M. 1991. Nutritional studies on seabass (*Lates calcarifer*). In S.S. DeSilva (ed.). *Fish Nutrition Research in Asia. Proceeding of the Fourth Asian Fish Nutrition Workshop Asian Fish Soc. Spec. Publ. 5*. Asian Fisheries Society, Manila. p: 33--42.
- Boonyaratpalin, M. 1997. Nutrient requirements of marine food fish cultured in South Asia. *Aquaculture*, 151: 283--313.
- Boyd, C.E., L. Massaut, and L.J. Weddig. 1998. Towards reducing environmental impacts of pond aquaculture. *INFOFISH International 2/98*, p: 27--33.
- Buschmann, A.H., D.A. Lopez, and A. Medina. 1996. A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile. *Aquacultural Engineering*, 15(6): 397--421.
- Cornel, G.E. and F.G. Whoriskey. 1993. The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of Lac du Passage, Quebec. *Aquaculture*, 109: 101--117.
- Davies, I.M. 2002. Waste production by farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Scotland. In *Scottish Executive Locational Guidelines for Fish Farming: Predicted Levels of Nutrient Enhancement and Benthic Impact*. Fisheries Research Services, Marine Laboratory, Aberdeen. Scottish Fisheries Research Report number 63/2002. p: 24--36.
- Davies, I.M. and R.J. Slaski. 2002. Waste production by farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). In *Scottish Executive Locational Guidelines for Fish Farming: Predicted Levels of Nutrient Enhancement and Benthic Impact*. Fisheries Research Services, Marine Laboratory, Aberdeen. Scottish Fisheries Research Report number 63/2002. p: 37--52.
- De Silva, S.S. and T.A. Anderson. 1995. *Fish Nutrition in Aquaculture*. Chapman & Hall Aquaculture Series 1, London. 319 pp.
- Dominguez, L.M., G.L. Calero, J.M.V. Martin, L.R. Robaina, and Fernandes-Palacio H. Retention and discharge of nutrients from a marine cage farm in the Canary Islands. Preliminary results. <http://www.ressources.ciheam.org/om/pdf/c22/97605928.pdf>. [20-07-2003], p. 291--300.
- Enell, M. 1995. Environmental impact of nutrients from nordic fish farming. www.iwaponline.com/wst/0311/wst031100061.htm. [16 September 2002]. *Water Science and Technology* 31(10): 61--71.
- Garcia-Ruiz, R. and G.H. Hall. 1996. Phosphorus fraction and mobility in the food and feses of hatchery reared rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 145: 183--193.
- Gillibrand, P.A., M.J. Gubbins, C. Greathead, and I.M. Davies. 2002. *Scottish Executive Locational Guidelines for Fish Farming: Predicted Levels of Nutrient Enhancement and Benthic Impact*. Scottish Fisheries Research Report 63/2002. Aberdeen: Fisheries Research Services. 52 pp.
- Goldburg, R.J., M.S. Elliot, and R.L. Naylor. 2001. *Marine Aquaculture in the United States, Environmental Impacts and Policy Options*. Pew Oceans Commission 2. 101 Wilson Boulevard, Suite 550, Arlington, Virginia 22201. 33 pp.
- Halver, J.E. 1989. *Fish Nutrition*. Second Edition. Academic Press, Inc. San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, Toronto. 798 pp.
- Hardy, R.W. 2000. New developments in aquatic feed ingredients, and potential of enzyme supplements. In: Cruz-Suares et al. (Eds.). *Avances en Nutricion Acuicola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutricion Acuicola*. 19--22 November, 2000. Merida, Yucatan, Mexico, p: 216--226.

- Helsinki Commission (HELCOM Recommendation 15/3). 2001. Measured Aimed at the Reduction of Discharges from Marine Fish Farming. Helsinki Commission, Finland. www.helcom.fi/recommendations/rec18-3.html. [20-07-2003].
- Horowitz, A. and S. Horowitz. 2000. Microorganisms and feed management in aquaculture. *Global Aquaculture Alliance. Advocate*, 3(2): 33--34.
- Johnsen, R.I., O. Grahl-Nielsen, and Lunestad. 1993. Environmental distribution of organic waste from a marine fish farm. *Aquaculture*, 118: 229--244.
- Kibria, G., D. Nugegoda, P. Lam, and R. Fairclough. 1996. Aspects of phosphorus pollution from aquaculture. *Naga, The ICLARM Quarterly*, July 1996. p: 20--24.
- McDonald, M.E., C.A. Tikkanen, R.P. Axler, C.P. Larsen, and G. Host. 1996. Fish simulation culture model (FIS-C): a bioenergetics based model for aquacultural wasteload application. *Aquacultural Engineering*, 15(4): 243--259.
- Montoya, R. and M. Velasco. 2000. Role of bacteria on nutritional and management strategies in aquaculture systems. *Advocate*, 3(2): 35--36.
- Phillips. M.J., R. Clark, and A. Mowat. 1993. Phosphorus leaching from atlantic salmon diets. *Aquacult. Eng.*, 12: 47--54.
- Pongsapan, D.S., Rachmansyah, dan A.G. Mangawe. 2001. Pemanfaatan bahan baku lokal untuk formulasi pakan bandeng yang dipelihara dalam keramba jaring apung di laut. *Laporan Hasil Penelitian*. Balai Penelitian Perikanan Pantai, Maros.
- Rachmansyah, T. Syarifuddin, dan T. Ahmad. 2002. Pemanfaatan perairan pesisir bagi pengembangan budi daya bandeng dalam keramba jaring apung di Teluk Pegametan, Gondol-Bali. p.II.188-II.229. *Dalam Bengen, et al. (eds.) Prosiding Konferensi Nasional III 2002 Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan Indonesia, Denpasar, 21--24 Mei 2002*. 26 pp.
- Ramseyer, L.J. 1998. Nutritional strategies for reducing pollutants in aquaculture effluent. Dissertation abstracts International Part B: Science and Engineering [Diss.Abst.Int. Pt.B--Sci.&Eng.], Apr 1998. Cambridge Scientific Abstract. *Aquaculture Impacts on the Environment*. www.csal.co.uk/hottopics/aquacult/biblio09.html. [21-07-2003], 58(10): 4,536 pp.
- Ramseyer, L.J., and D.L. Garling. 2002. Fish nutrition and aquaculture waste management. Departement of Fisheries and Wildlife, Michigan State University, East Lansing, MI 48824. www.aquanic.org/publicat/state/il-in/ces/garling.pdf. [12-03-2003].
- Ratnawati, E. dan Rachmansyah. 2000. Analisis usaha budidaya bandeng dalam keramba jaring apung di laut. *Laporan Hasil Penelitian*, Balai Penelitian Perikanan Pantai, Maros.
- Riche, M. and P.B. Brown. 1996. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 142: 269--282.
- Seymour, E.A., and A. Bergheim. 1991. Towards a reduction of pollution from intensive aquaculture with difference to the farming of salmonids in Norway. *Aquacultural Engineering*, 10: 73--88.
- Silvert, W. and J.W. Sowles. 1996. Modelling environmental impacts of marine finfish aquaculture. *J. Appl. Ichthyol*, 12: 75--81.
- Spinelli, J., C.R. Houle, and J.C. Wekell. 1983. The effects of phytates on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed purified diets containing varying quantities of calcium and magnesium. *Aquaculture*, 30: 71--83.
- Usman, Rachmansyah, dan D.S. Pongsapan. 2002. Beban limbah budidaya ikan kerapu bebek *Cromileptes altivelis* dalam keramba jaring apung. *Laporan Hasil Penelitian Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Maros*.
- Watanabe, T. 1988. *Fish Nutrition and Mariculture*. JICA Textbook the General Aquaculture Course. Departemen of Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries, Japan. 233 pp.
- Weismann, D., H. Scheid, and E. Pfeffer. 1988. Water pollution with phosphorus of dietary origin bu intensively fed rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.). *Aquaculture*, 69: 263--270.
- Wu, R.S.S. 1995. The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin*, 31 (4--12): 159--166.
- Wu, R.S.S. 2002. Marine Fish-farming: a Polluting Industry or a Sustainable Development?. Abstract. Biology and Chemistry Departement, City University of Hongkong, China. www.khu.hk/civil/dept_activities/asi/abspdf/abs_rrwu.pdf. [September 2002].

Lampiran 1. Alur pemanfaatan N, P, dan C pakan oleh ikan
Annex 1. The flux of N, P, and C of feed by fish

Pakan Food	Retensi Retention	Feses Faecal	Ekskresi Excretion	Beban limbah Nutrient loading	Pustaka (Ji Reference
76.66 kg N/t ikan	33.77 kg N/ton ikan	4.42 kgN/t ikan	38.40kg N/t ikan	42.58 kg N/t ikan (55.54% N)	Penelitian ini
34.38 kg P/t ikan	3.38 kg P/ton ikan	4.42 kgP/t ikan	26.24 kg P/t ikan	30.87 kg P/t ikan (89.79% P)	Bandeng (<i>Chanos chanos</i>)
170.97 kg C/t ikan	22.56 kg C/ton ikan	6.26 gC/t ikan	140.46 kg C/t ikan	147.54 kg C/t ikan (86.28%)	
169 kg N/ t ikan	30.6 kg N/ton ikan	24.9 kg N/t ikan	98.1 kg N/t ikan	138.4 kg N/t ikan (81.89% N)	Usman <i>et al.</i> (2002)
33.7 kg P/ t ikan	4.1 kg P/ikan	12.1 kg P/t ikan	14.4 kg P/t ikan	29.6 kg P/t ikan (87.83% P)	Kerapu bebek (<i>Cromileptes</i>)
100% N	30% N	13% N	87% N	70% N	Remseyer & Garling (2002)
100% P	32% P	60%-90% P	10%-40% P	68% P	Salmon
100% P	15%-30%P	51%-59% P	16%-26% P	70%-85% P	Hakanson <i>et al.</i> (1998)
7.9% N	18.8% N	-	-	81.2% N	Dominguez <i>et al.</i> (1996)
1.08% P	31.4% P	-	-	68.6% P	Gilthead seabream (<i>Sparus aurata</i>)
108 kg N/ t ikan	30 kg N/ton ikan	17 kg N/t ikan	61 kg N/t ikan	78 kg N/t ikan (72.22%)	Enell & Ackefors (1991)
13.4 kg P/t ikan	4.0 kg P/ton ikan	7.3 kg P/t ikan	2.2 kg P/t ikan	9.4 kg P/t ikan (70.15%)	
100% N	21%-30% N	15%-30% N	49%-60% N	70%-79% N	Wallin & Hakanson (1991)
100% P	15%-30% N	51%-59% P	16%-26% P	70%-85% P	
18 kg P/t ikan	4.8 kg P/ton ikan	6.2 kg P/t ikan	7 kg P/t ikan	13.2 kg P/t ikan (73.33%)	Beveridge (1987)