

PENDUGAAN NUTRIENT BUDGET TAMBAK INTENSIF UDANG, *Litopenaeus vannamei*

Rachman Syah^{*)}, Hidayat Suryanto Suwoyo^{*)}, Muh. Chaidir Undu^{*)}, dan Makmur^{*)}

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *nutrient budget* tambak intensif udang *Litopenaeus vannamei* sebagai acuan alokasi *input* produksi pada tingkat kapasitas asimilasi lingkungan perairan. Pendugaan *nutrient budget* tambak udang intensif menggunakan pendekatan *mass balance*, dihitung berdasarkan *input* nutrisi nitrogen - N dan fosfor - P yang berasal dari pakan, benih, pupuk, media probiotik, *inflow*, dan *output* nutrisi yang ada pada produksi udang, *outflow*, dan endapan lumpur di dasar tambak. Sampel air, tanah, sedimen, plankton diambil sebelum penebaran dan setiap dua minggu selama pemeliharaan dari tiga petak tambak, masing-masing 5 titik sampel per petak tambak contoh. Analisis nitrogen dan fosfor dilakukan untuk sampel pakan, karkas udang awal dan akhir. Data manajemen budi daya meliputi padat penebaran benur 50 ekor m⁻², produksi 1.188—1.489 kg/0,25 ha, dan FCR 1,69—2,14; maka total *input* nutrisi tambak udang *Litopenaeus vannamei* antara 171,9155—179,3778 (176 ± 3,9586) kg N dan 95,2533—99,4180 (97,8340 ± 2,3348) kg P. Pakan mendominasi *input* N sebesar 61,96% ± 0,66%; disusul *inflow* 30,93% ± 0,70%; pupuk 6,52% ± 0,15%, serta media probiotik dan benur masing-masing <1%. Pola yang sama terjadi pada *input* phosphorus dengan komposisi 87,75% ± 0,24% dari pakan; 7,73% ± 0,19% pupuk; 4,05% ± 0,25% *inflow* dan media probiotik < 1%. Total *output* nitrogen tambak udang *vannamei* antara 107,1279-110,1438 (108,4957 ± 1,5274) kg N dan 51,6362—63,6576 (56,1292 ± 6,5604) kg P. Komposisi *output* nitrogen adalah *outflow* sebanyak 29,82% ± 3,20%; kemudian udang yang dipanen 21,32% ± 1,33%, lumpur atau *sludge* 10,40% ± 0,81%. Sedangkan komposisi *output phosphorus* didominasi oleh lumpur 39,03% ± 6,59%; kemudian udang yang dipanen 15,22% ± 0,85% dan *outflow* 3,09% ± 0,26%. Efisiensi pakan dan air melalui manajemen budi daya yang benar menjadi peubah dominan penentu beban limbah tambak udang.

ABSTRACT: *Nutrient budget assessment in shrimp ponds culture of Litopenaeus vannamei. By: Rachman Syah, Hidayat Suwoyo Suyanto, Muh Chaidir Undu, and Makmur*

This research was aimed to find out nutrient budget on L. vannamei intensive ponds as input allocation reference produce at environmental assimilation capacity level. Nutrient budget assessment was used mass balance approach, calculate based on nutrient input of nitrogen (N) and phosphor (P) from feed, seed, fertilizer, probiotic media, and inflow and nutrient output within pond yield, outflow, and sludge sedimentation at pond bottom. Sampling for water quality, sediment, and plankton was carried out at three ponds and five stations within each pond before stocking and continued fortnightly as long as culture periods. Nitrogen and phosphor analyzed for feed, and shrimp carcass of both of initial stocking and harvest. The data of culture management consist of shrimp yield reached 1,188—1,489 kg/0.25 ha with stocking density of 50 ind/m² and FCR 1.69—2.14. Total input nutrients within L. vannamei ponds are 171.9155—179.3778 (176 ± 3.9586) kg N and 95.2533—99.4180 (97.8340 ± 2.3348) kg P. Food given domination on N input N with 61.96% ± 0.66% followed by inflow by 30.93% ± 0.70%, fertilizer 6.52% ± 0.15%, and both of probiotic media and seed supply less than 1% respectively. There are the same pattern with phosphorous

^{*)} Peneliti pada Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Maros

input with following composition $87.75\% \pm 0.24\%$ from food, $7.73\% \pm 0.19\%$ fertilizer, $4.05\% \pm 0.25\%$ inflow and probiotic media less than 1%. Total output nitrogen from *L. vannamei* ponds between 107.1279–110.1438 (108.4957 ± 1.5274) kg N and 51.6362–63.6576 (56.1292 ± 6.5604) kg P. Composition of nitrogen output is dominated by outflow $29.82\% \pm 3.20\%$, followed by shrimp harvest $21.32\% \pm 1.33\%$, and sludge $10.40 \pm 0.81\%$. Meanwhile, composition of phosphorous output dominated by sludge $39.03\% \pm 6.59\%$, shrimp harvest $15.22\% \pm 0.85\%$ and outflow $3.09\% \pm 0.26\%$. Both food and water efficiency under good culture management are the mainfactors of waste load from shrimp culture ponds.

KEYWORDS: *nutrient budget, shrimp culture ponds*

PENDAHULUAN

Salah satu penyebab penurunan kualitas lingkungan perairan tambak adalah buangan limbah air budi daya selama operasional yang mengandung unsur N dan P dalam konsentrasi tinggi dari limbah organik dan nutrisi sebagai konsekuensi dari masukan akuainput dalam budi daya udang yang menghasilkan sisa pakan dan faeces yang terlarut ke dalam air untuk kemudian dibuang ke perairan sekitarnya (Boyd *et al.*, 1998; Boyd, 1999; Horowitz & Horowitz, 2000; Montoya & Velasco, 2000). Menurut Boyd (1999), beban limbah budi daya udang dapat mencapai 12,6–21 kgN dan 1,8-3,6 kgP per ton produksi udang pada tingkat FCR 1,5 dan akan meningkat seiring dengan meningkatnya produktivitas udang. Buangan limbah nitrogen dari tambak udang komersial meningkat seiring meningkatnya FCR (Teichert-Coddington *et al.*, 1996; Boyd, 1999). Level protein pakan dengan jumlah pemberian pakan perhari (*feeding rate*) yang rendah selama musim kemarau, tidak berpengaruh nyata terhadap produksi udang dan peubah kualitas air selama pemeliharaan udang *Penaeus vannamei* pada padat penebaran 325.000 ekor PL/ha dan manajemen pakan yang hati-hati dapat menghasilkan lebih sedikit beban limbah nitrogen ke dalam lingkungan (Green *et al.*, 1997). Hal yang sama juga dilaporkan Tiechert-Coddington *et al.* (1997) dengan padat penebaran 240.000 ekor/ha pada pemeliharaan udang di musim hujan. Sirkulasi air dari tambak pembesaran melalui tambak oksidasi pada volume air yang sama tidak memberikan pengaruh negatif terhadap kualitas air dan produksi udang *Litopenaeus vannamei* (Zelaya *et al.*, 2002). Jadi *nutrient budget* tambak udang diduga dipengaruhi oleh strategi manajemen budi daya dan performansi akuainput produksi.

Faktor penentu akuainput dalam budi daya udang adalah padat penebaran benur yang mengindikasikan penerapan tingkat teknologi

budi daya. Padat penebaran benur akan menentukan besaran kebutuhan pakan sebagai sumber utama energi bagi kehidupan udang dan penerapan sistem aerasi bagi peningkatan kelayakan habitat udang. Sementara besaran input pakan menyerap hampir 70% dari total biaya produksi udang (Pasaribu *et al.*, 1989) serta merupakan pemasok utama limbah bahan organik dan nutrisi ke lingkungan perairan (Barg, 1992; Phillips *et al.*, 1993; Kibria *et al.*, 1996; Boyd *et al.*, 1998; Boyd, 1999; Siddiqui & Al-Harbi, 1999) dan menyebabkan pengkayaan nutrisi (hipernutrifikasi) dan bahan organik yang diikuti oleh eutrofikasi dan perubahan ekologi fitoplankton, peningkatan sedimentasi, siltasi, hypoxia, perubahan produktivitas, dan struktur komunitas bentos (Barg, 1992). Limbah budi daya tambak berdampak pada kualitas perairan pesisir dan hidrologi, organisme perairan dan vegetasi mangrove serta terestrial (Latt, 2002). Dalam prakteknya, beberapa pengelola budi daya cenderung menebarkan benur dalam kepadatan tinggi dengan harapan dapat menghasilkan produksi yang tinggi, tanpa memperhatikan kemampuan daya dukung lahan budi daya dan dampak negatif dari buangan limbah air budi daya terhadap penurunan kualitas perairan. Padat penebaran yang tinggi >50 ekor/m³, dapat menyebabkan udang stres, rendahnya efisiensi konversi pakan dan meningkatkan kemungkinan terserangnya penyakit (Li, 1989). Soley *et al.* (1994) menyatakan padat penebaran merupakan variabel kontrol potensial utama di dalam perencanaan produksi.

Pengelolaan budi daya udang yang bertanggung jawab sebagai pijakan kegiatan budi daya yang berkelanjutan sangat ditentukan oleh kemampuan mengalokasikan sumber daya budi daya pada tingkat kapasitas asimilasi lingkungan dalam mendegradasi beban limbah yang dihasilkan dari sistem budi daya. Karena itu, salah satu dasar pertimbangan

alokasi sumber daya budi daya secara rasional adalah dengan mengacu pada informasi perilaku *nutrient budget* sebagai cerminan respons pemanfaatan daya dukung lahan tambak. Aplikasi padat penebaran yang identik dengan penerapan tingkatan teknologi membawa konsekuensi terhadap kebutuhan *input* pakan dan biaya produksi yang berkorelasi positif. Namun tidak demikian terhadap produktivitas dan potensi dampak buangan limbah budi daya. Berdasarkan keterkaitan perilaku antar variabel tersebut, maka diperlukan suatu informasi pendugaan *nutrient budget* sebagai acuan untuk menentukan strategi alokasi akuinput (tingkat padat penebaran optimal dan manajemen budi daya) yang mampu menghasilkan tingkat produksi udang dan keuntungan yang maksimal, tanpa memberikan dampak negatif terhadap kemerosotan kualitas lingkungan perairan. Studi tentang pengaruh *level* protein pakan sebagai salah satu strategi pengelolaan tambak terhadap *nutrient budget* telah dilakukan oleh Green *et al.* (1997) yang mendapatkan *level* protein pakan (20% dan 30% CP) tidak berpengaruh nyata terhadap produksi udang *Penaeus vannamei* pada pemeliharaan musim kemarau tetapi jumlah *input nutrient* Total Nitrogen (TN) dan Total Fosfor (TP) berbeda nyata. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Teichert-Coddington *et al.* (1997) untuk udang *L. vannamei* yang dipelihara pada musim hujan dengan perlakuan *level* protein pakan dan laju pemberian pakan. Namun buangan nitrogen dari tambak udang komersial akan meningkat seiring dengan meningkatnya *feeding rate* dan *level* protein pakan (Teichert-Coddington *et al.*, 1996).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi tentang *nutrient budget* tambak intensif udang *L. vannamei* pada aplikasi jumlah kincir yang berbeda sebagai acuan pengembangan model alokasi sumber daya budi daya secara rasional berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di tambak udang intensif yang terletak di Desa Borongkalukua, Kecamatan Maros Utara, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Terdapat 3 petak tambak udang intensif *L. vannamei* yang dipilih secara acak, masing-masing 2.500 m² sebagai unit contoh dalam satu hamparan. Persiapan lahan dilakukan sebelum penebaran meliputi perbaikan pematang, pengeringan dasar tambak sampai retak-retak diikuti dengan pengapuran

sebanyak 50 kg dolomit dan 100 kg kapur bakar (CaO) serta pemupukan 12,5 kg urea dan 12,5 kg TSP. Pupuk susulan diberikan sesuai kebutuhan berdasarkan kondisi perkembangan fitoplankton dalam tambak. Sebagai perlakuan adalah jumlah kincir (1 HP/unit) per petak percobaan yaitu petak A 2 unit; petak B 3 unit, dan petak C 4 unit. Benur *L. vannamei* PL₈ diperoleh dari hatcheri di Lampung dan ditebar dengan kepadatan 50 ekor m⁻². Pakan sebanyak 5%—3% bobot biomassa diberikan 5 kali sehari pada pukul 08.00, 11.00, 15.00, 18.00, dan 21.00. Perubahan jumlah pakan disesuaikan dengan pertumbuhan bobot udang yang dipantau setiap 10 hari.

Titik pengambilan sampel pada setiap petak tambak contoh ditentukan sebanyak 5 titik membentuk garis diagonal (untuk sampel air, sedimen, plankton), satu titik masing-masing di *inflow* dan *outflow*. Sampel diambil sebelum penebaran benur, selama pemeliharaan sampai panen dengan interval dua minggu sekali. Sampel sedimen diambil pada kedalaman 5 cm dari permukaan. Sebanyak 5 buah sedimen trap berdiameter 4 inchi dan panjang 20 cm dipasang pada dasar tambak untuk mengetahui laju sedimentasi dan menduga produksi lumpur (*sludge*) selama operasional budi daya udang. Lokasi sedimen trap searah garis diagonal pada masing-masing petakan contoh dan dikoleksi setiap dua minggu. Sampel air dan sedimen yang terkoleksi dimasukkan ke dalam *cool box* bersuhu dingin dan dibawa ke laboratorium. Sampel plankton diawetkan dengan larutan MAF 4% (Methanol-Asam acetat glacial-Formaldehid). Data manajemen budi daya meliputi persiapan lahan, penggunaan pupuk dan probiotik padat penebaran, volume air tambak dan *level* pergantian air, jenis dan jumlah pakan, teknik pemberian pakan, sintasan, produksi udang, dan rasio konversi pakan (FCR) untuk satu siklus pemeliharaan dikoleksi dan dicatat dari *farm record book keeping*.

Analisis sampel sedimen meliputi profil redox dan pH menggunakan HI9023 micro-computer pH meter dengan redox probe (Inode electrode), bahan kering (metode *weight loss*), bahan organik dan %C (metode *ignition loss*), %N (metode Kjeldahl), %TP (Molybdovanadate dengan Spectrofotometer) dan tekstur (metode *boyoucus hydrometer*). Sampel air yang dianalisis meliputi: suhu dan oksigen terlarut (DO meter), salinitas (Refractometer), pH (pH meter), Total Suspended Solid (TSS) secara Gravimetri, Bahan Organik Terlarut (BOT) secara Titrimetri, turbiditas (Nephelometric method-

Turbidimeter), amonium (*Phenate method*), nitrit (*Colorimetric method*), nitrat (*Cadmium reduction method*), fosfat (*Ascorbic acid method*), dan chlorophyll (*trichromatic method-Spectrophotometric*). Plankton diidentifikasi jenis dan dihitung jumlahnya. Analisis proksimat dilakukan untuk sampel pakan, karkas udang awal (PL) dan akhir (panen).

Pendugaan *nutrient budget* untuk TN dan TP di dalam tambak udang *L. vannamei* selama periode pemeliharaan berdasarkan pendekatan *mass balance* dengan menghitung *input* yang terdiri atas air yang masuk ke dalam tambak (*inflow*), benur, pakan, pupuk, media probiotik. Sementara *output* terdiri atas udang yang dipanen, air yang dibuang ke luar tambak (*outflow*), dan lumpur (*sludge*) serta *nutrient* yang tidak terhitung dikelompokkan ke dalam denitrifikasi dan amonia volatilisasi serta adsorpsi ke dalam sedimen (Gambar 1). Secara umum persamaan keseimbangan *nutrient budget* adalah sebagai berikut:

$$S_{in} + F_{in} + Fert_{in} + PV_{in} + WE_{in} + FM_{in} = S_{out} + PV_{out} + WE_{out} + Sludge_{out} + Unaccounted$$

di mana:

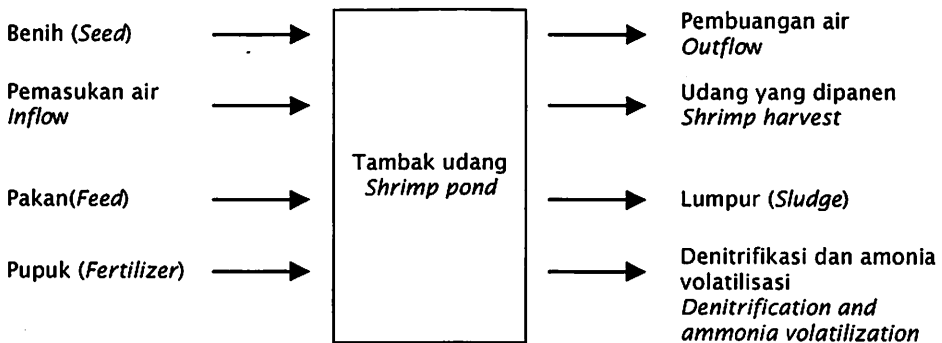
- S = udang (*shrimp*)
- F = pakan (*feed*)
- Fert = pupuk (*fertilizer*)
- PV = volume air tambak (*pond volume*)
- WE = pergantian air (*water exchange*)
- FM = tepung ikan (*fish meal*) sebagai media penumbuhan probiotik
- Sludge* = lumpur
- Unaccounted* = nutrisi yang tidak terhitung (proses *denitrification*, *ammonia volatilization*, dan *adsorption*)

Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) ditentukan dengan menjumlahkan nilai amonium, nitrit, dan nitrat.

HASIL DAN BAHASAN

Karakteristik Tanah Tambak

Tekstur tanah tambak percobaan adalah lempung berdebu dengan kandungan pasir antara 19%—20%, liat 0%—2%, dan debu 80%. Sebelum persiapan lahan, pH dan redoks tanah tambak masing-masing antara 6,53—6,99 ($6,91 \pm 0,12$) dan -182 - -120 ($-152 \pm -22,72$) mv, dan setelah persiapan pH mengalami peningkatan menjadi 6,84—7,35 ($7,12 \pm 0,16$) dan penurunan redoks menjadi -88 - -33 ($-58 \pm -19,94$) mv (Tabel 1). Pada akhir pemeliharaan udang, nilai pH antara 6,89—7,34 ($7,11 \pm 0,13$) dan redoks antara -216 - -105 ($-165 \pm 26,24$) mv. Hal yang sama terjadi pada kandungan NO_3 mengalami peningkatan seiring dengan periode pemeliharaan udang dari 10,76—32,07 ($22,69 \pm 7,16$) mg/L sebelum penebaran menjadi 21,02—42,32 ($28,44 \pm 6,43$) mg/L pada saat panen. Nilai PO_4 dan P_2O_5 mengalami peningkatan setelah persiapan lahan kemudian relatif tidak banyak berubah pada saat panen. Diduga probiotik yang diaplikasikan selama pemeliharaan udang berperan penting dalam mendegradasi beban limbah di dasar tambak dan mempertahankan dinamika nutrisi tanah tambak dalam kondisi yang relatif stabil. Bahan organik tanah meningkat dari 0,93—5,45 ($3,35 \pm 1,71$) % menjadi 5,64—12,02 ($8,41 \pm 2,13$) % selama periode pemeliharaan akibat penumpukan bahan organik yang berasal dari sisa pakan dan feses. Laju sedimentasi di dalam



Gambar 1. Model *nutrient budget* tambak udang intensif

Figure 1. *Nutrient budget model of intensive shrimp pond*

Tabel 1. Karakteristik tanah tambak percobaan
 Table 1. Soil characteristic of experimental ponds

Variabel Variables	Sebelum persiapan Before preparation 5 April 2005	Setelah persiapan After preparation 26 Mei (May) 2005	Sebelum panen Before harvest 14 September 2005
Petak A (Pond A)			
pHF	6.53-6.85 (6.69 ± 0.16)	7.15-7.35 (7.26 ± 0.10)	6,89-7,18 (7,03 ± 0,12)
Redox (mv)	-182 -- -153 (-171 ± 16.20)	-88 -- -35 (-59 ± 26.85)	-167 -- -105 (-140 ± -25.7)
Organic matter (%)	0.93-1.55 (1.24 ± 0.31)	2.16-3.64 (2.75 ± 0.78)	5.64-7.22 (6.70 ± 0.63)
PO ₄ -P (mg/L)	1.20-1.31 (1.28 ± 0.06)	2.78-4.20 (3.53 ± 0.71)	2.80-7.10 (4.82 ± 1.90)
P ₂ O ₅ (mg/L)	0.90-0.98 (0.95 ± 0.05)	2.08-3.14 (2.64 ± 0.53)	2.20-7.03 (4.59 ± 1.78)
NO ₃ -N (mg/L)	33.48-64.30 (44.86 ± 16.89)	10.76-27.33 (17.60 ± 8.66)	22.60-42.32 (29.23 ± 9.07)
Petak B (Pond B)			
pHF	6.77-6.97 (6.88 ± 0.10)	6.84-7.20 (7.07 ± 0.20)	6,99-7,32 (7,12 ± 0,15)
Redox (mv)	-167 -- -138 (-152 ± 14.57)	-86 -- -33 (-54 ± 27.97)	-216 -- -161 (-181 ± 23.18)
Organic matter (%)	3.40-5.45 (4.57 ± 1.05)	2.37-6.69 (4.88 ± 2.25)	8.97-12.02 (10.41 ± 1.32)
PO ₄ -P (mg/L)	0.63-1.09 (0.90 ± 0.24)	4.33-6.53 (5.10 ± 1.25)	3.75-6.28 (4.86 ± 1.22)
P ₂ O ₅ (mg/L)	0.47-0.82 (0.67 ± 0.18)	3.23-4.88 (3.81 ± 0.93)	2.80-4.69 (3.63 ± 0.91)
NO ₃ -N (mg/L)	30.45-75.85 (55.38 ± 23.03)	17.08-32.07 (24.44 ± 7.50)	21.02-38.38 (27.65 ± 6.94)
Petak C (Pond C)			
pHF	6.94-6.99 (6.96 ± 0.03)	6.98-7.08 (7.03 ± 0.05)	7,04-7,34 (7,18 ± 0,11)
Redox (mv)	-158 -- -120 (-133 ± 21.66)	-68 -- -54 (-61 ± 7.02)	-182 -- -164 (-173 ± 7.68)
Organic matter (%)	3.90-4.90 (4.25 ± 0.56)	2.33-8.55 (5.31 ± 3.12)	6.18-11.42 (8.10 ± 2.24)
PO ₄ -P (mg/L)	1.34-2.50 (1.73 ± 0.67)	5.38-6.22 (5.83 ± 0.43)	4.46-8.82 (6.92 ± 1.73)
P ₂ O ₅ (mg/L)	1.00-1.87 (1.29 ± 0.50)	4.02-4.66 (4.36 ± 0.32)	3.37-6.59 (4.67 ± 1.29)
NO ₃ -N (mg/L)	30.07-56.80 (46.12 ± 14.15)	21.81-28.91 (26.02 ± 3.73)	24.96-34.43 (28.44 ± 3.54)

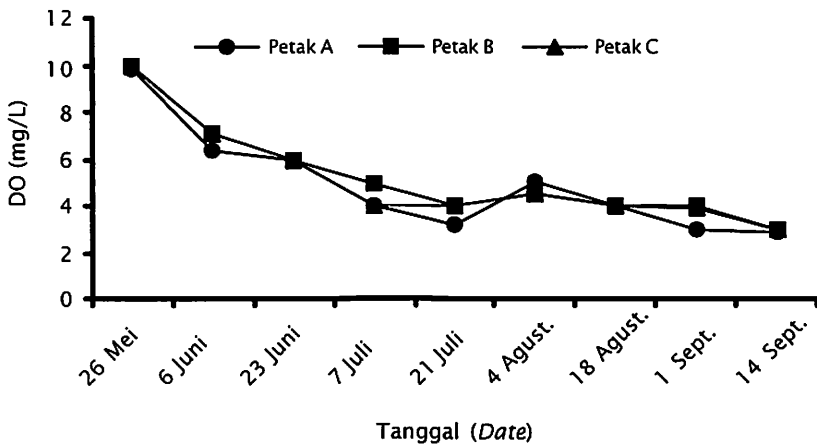
tambak selama pemeliharaan udang mencapai 49,49—813,21 ($332,71 \pm 203,20$) g/m² bahan kering dengan total N dan total P masing-masing 0,15—1,52 ($0,66 \pm 0,35$)% dan 1,05-1,68 ($1,37 \pm 0,19$)%.

Karakteristik Air Tambak

Fluktuasi rataan oksigen terlarut di dalam tambak selama pemeliharaan udang cukup bervariasi antara 3,08—10,36 ($5,15 \pm 2,17$) mg/L (Tabel 2). Pada awal penebaran oksigen terlarut rata-rata 9,93 mg/L dan cenderung mengalami penurunan di akhir pemeliharaan mencapai 3,35 mg/L (Gambar 2). Pada petakan dengan jumlah kincir 4 unit, cukup dapat mempertahankan kelarutan oksigen pada kisaran 3,64—10,36 ($5,27 \pm 2,25$) mg/L lebih tinggi dibandingkan petakan dengan jumlah kincir 3 dan 2 unit, masing-masing 3,32—9,85 ($5,25 \pm 2,11$) mg/L dan 3,08—9,59 ($4,93 \pm 2,14$) mg/L (Tabel 2).

Jumlah kincir dalam petakan tambak tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap oksigen terlarut. Pola perubahan oksigen terlarut (pada kedalaman 50 cm dari permukaan air) selama 24 jam mengindikasikan kondisi relatif kritis menjelang pukul 24 sampai 06 di pagi hari (Gambar 3—5). Pada petak A terjadi kondisi kritis oksigen terlarut <2 mg/L (pukul 24.00—03.00) pada pengamatan minggu ke-11. Bagian pinggir tambak yang berbatasan dengan pematang tambak memiliki arus air yang cukup

dan oksigen terlarut umumnya dalam kondisi jenuh dibandingkan bagian tengah di mana *sludge* akan mengendap dan oksigen dapat mencapai <1,0 mg/L. Penempatan kincir yang tepat dapat memaksimalkan daerah tambak teroksigenasi dan meminimalkan daerah tambak yang defisit oksigen. Berdasarkan data fluktuasi oksigen terlarut harian, maka kapasitas oksigen terlarut dari ketiga tambak relatif sama (Gambar 6), masing-masing 7,42—19,18 ($12,18 \pm 4,44$) kg O₂ tambak A, 9,62—14,21 ($11,81 \pm 1,73$) kg O₂ tambak B dan 10,08—14,40 ($11,99 \pm 1,65$) kg O₂ tambak C. Jika biomassa udang di tambak mencapai 13.500 kg/ha, maka konsumsi oksigen tambak lebih besar dari 2 mg/L/jam (McIntosh, 2000). Jika kedalaman air tambak 1 m, maka dibutuhkan sekitar 20 kg O₂/jam/ha atau 1.481 mg/kg udang/jam. Pada studi ini, tingkat produktivitas udang tertinggi (petak B) mencapai 1.489 kg/0,25 ha atau konsumsi udang mencapai 2,2 kg O₂/jam/0,25 ha. Rataan kapasitas oksigen harian antara 11,81—12,18 kg O₂ sehingga perlakuan kincir antara 2—4 unit per 0,25 ha masih cukup memadai memasok kebutuhan oksigen tambak selama pemeliharaan (Gambar 6). Namun *level* oksigen kritis (LOK) sebesar 3 mg/L perlu diperhatikan. Pada kondisi LOK maka kapasitas oksigen terlarut pada petak A telah mengalami defisit antara jam 23.00—06.00 (Gambar 7) sehingga aplikasi 2 kincir/0,25 ha dengan padat penebaran 50 ekor/m² perlu dipertimbangkan. McIntosh (2000) melaporkan bahwa tambak



Gambar 2. Oksigen terlarut pada pengukuran pukul 07.00—08.00 di tambak *L. vannamei* selama pemeliharaan

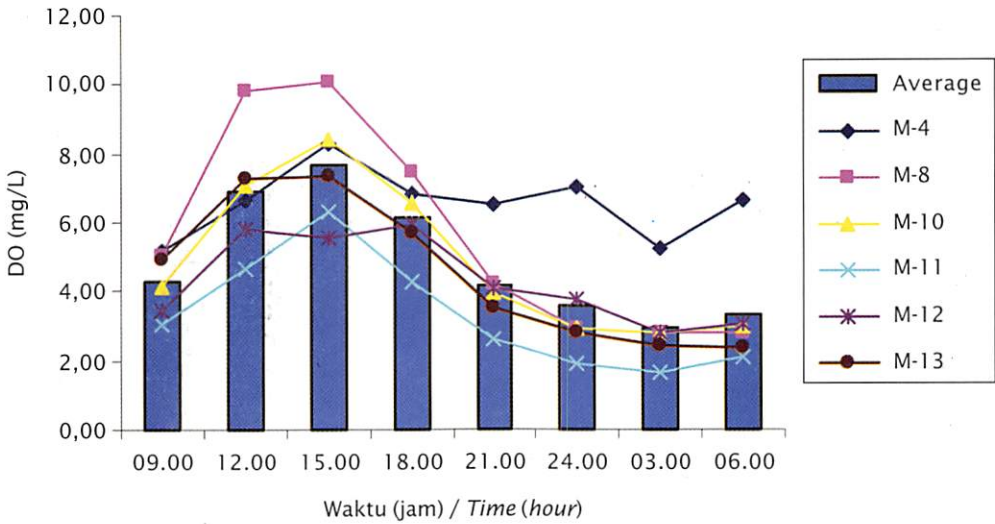
Figure 2. Dissolved oxygen at 07.00—08.00 measurement in the pond of *L. vannamei* over culture the period

Tabel 2. Nilai rata-ran parameter kualitas air tambak, pemasukan, pengeluaran selama pemeliharaan dengan perlakuan jumlah kincir yang berbeda

Tabel 2. Mean value of water quality parameters in ponds, inlet and outlet over the culture period with different number of peddle wheel

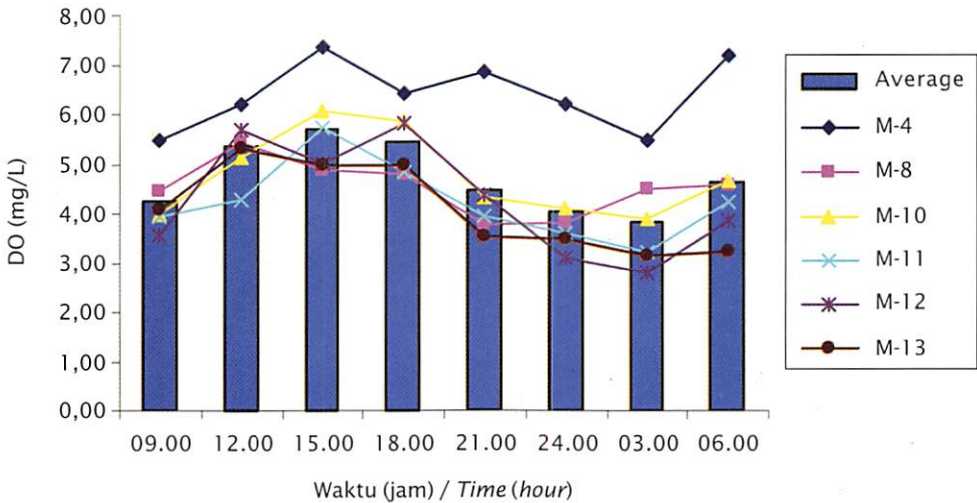
Variabel Variable	Pemasukan Inlet	Jumlah kincir (Number of peddle wheel) (pcs/0.25 ha pond)			Pengeluaran Out flow
		2	3	4	
DO (mg/L)	3.58-7.46 (4.90 ± 1.39)	3.08-9.59 (4.93 ± 2.14)	3.32-9.85 (5.25 ± 2.11)	3.64-10.36 (5.27 ± 2.25)	3.19-6.40 (4.33 ± 1.00)
NH ₄ -N (mg/L)	0.0081-4.3221 (0.6678 ± 1.3815)	0.0456-3.2343 (1.0395 ± 1.1644)	0.0388-2.5749 (0.8485 ± 0.9039)	0.0311-5.0784 (1.2563 ± 1.6111)	0.017-2.2907 (0.4313 ± 0.7217)
NO ₂ -N (mg/L)	0.0031-0.2158 (0.0542 ± 0.0732)	0.0095-0.1207 (0.0375 ± 0.0392)	0.0106-2.4414 (0.4574 ± 0.7936)	0.0084-0.5626 (0.1501 ± 0.2202)	0.0049-0.196 (0.0369 ± 0.0632)
NO ₃ -N(mg/L)	0.01-0.3563 (0.0958 ± 0.1132)	0.0034-0.3404 (0.1353 ± 0.1152)	0.0030-1.0308 (0.4042 ± 0.4541)	0.0030-0.7215 (0.2406 ± 0.2706)	0.021-1.1977 (0.2308 ± 0.3955)
DIN (mg/L)	0.0557-2.6436 (0.5877 ± 0.8696)	0.0091-3.4551 (0.4043 ± 0.7148)	0.0989-6.0471 (1.7102 ± 1.9134)	0.0795-5.4721 (1.6470 ± 1.8454)	0.0259-5.4953 (0.8744 ± 1.7516)
PO ₄ -P(mg/L)	0.001-0.0636 (0.0225 ± 0.0249)	0.0010-0.2039 (0.0956 ± 0.0669)	0.0010-0.222 (0.1096 ± 0.0664)	0.0010-0.1499 (0.0743 ± 0.0536)	0.001-0.1361 (0.0393 ± 0.0402)
TSS (mg/L)	87.50-159.00 (128.11 ± 24.82)	87.00-390.80 (249.53 ± 102.88)	139.00-509.80 (249.28 ± 137.47)	121.72-527.60 (254.89 ± 143.55)	96.00-198.00 (142.89 ± 33.30)
TOM (mg/L)	7.23-159.26 (27.08 ± 49.63)	9.78-117.7 (25.66 ± 34.39)	9.34-105.80 (23.66 ± 30.89)	6.86-121.72 (25.08 ± 36.40)	6.75-164.95 (30.36 ± 50.68)
Chlorophyl- (mg/m ³)	0-0.0375 (0.0159 ± 0.0164)	0.0211-0.3873 (0.1732 ± 0.1352)	0.0275-0.4441 (0.1852 ± 0.1463)	0.0328-0.5111 (0.1974 ± 0.1697)	0.0157-0.4707 (0.1991 ± 0.1553)
Plankton (Plankton)	30-930 (160 ± 291)	30-1.120 (272 ± 406)	30-570 (114 ± 173)	20-460 (113 ± 143)	40-240 (127 ± 69)

Keterangan (Note): Data dipresentasikan dalam nilai rata-ran ± SE (n=5 untuk setiap tambak) pada setiap data kualitas air tambak untuk semua waktu sampling (Value are mean ± SE (n=5 for each pond) for each pond water quality data for all sampling times)



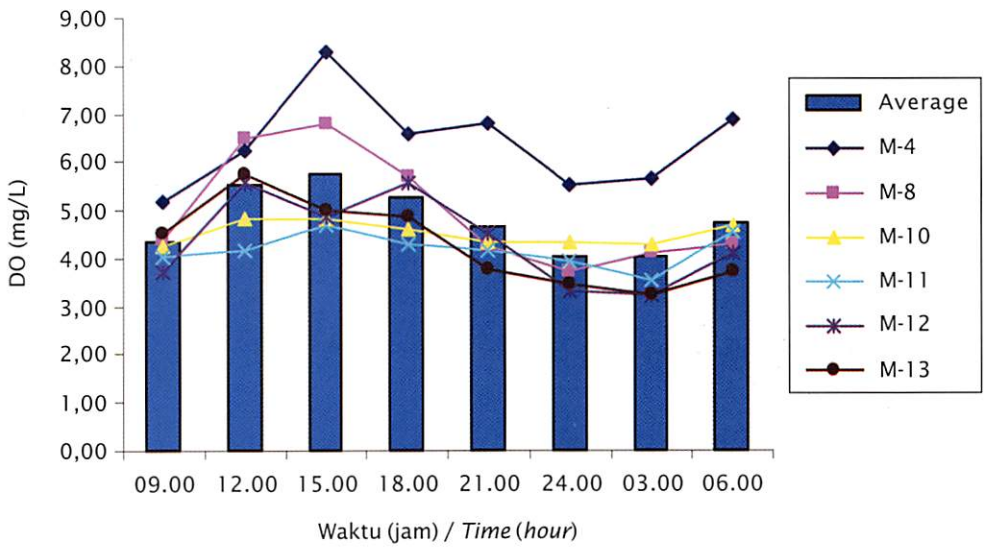
Gambar 3. Fluktuasi oksigen terlarut harian pada petak A (2 kincir) pada pengukuran minggu (M) yang berbeda

Figure 3. Daily dissolved oxygen at pond A (2 peddle wheel) at different time (week) measurement



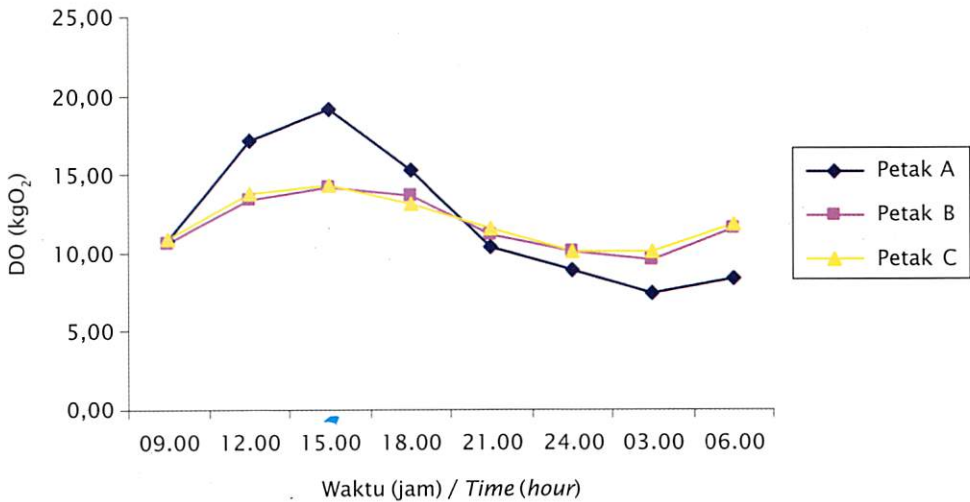
Gambar 4. Fluktuasi oksigen terlarut harian pada petak B (3 kincir) pada pengukuran minggu (M) yang berbeda

Figure 4. Daily dissolved oxygen at pond B (3 peddle wheel) at different time (week) measurement



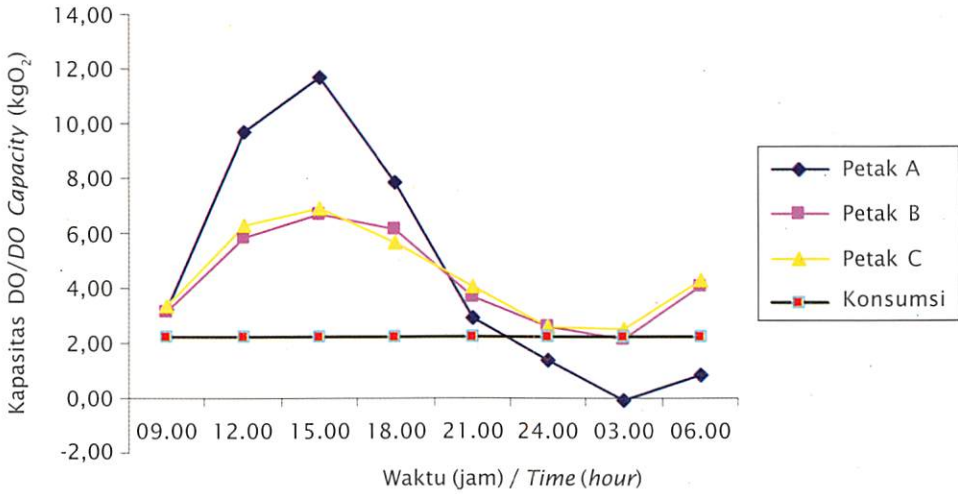
Gambar 5. Fluktuasi oksigen terlarut harian pada petak C (4 kincir) pada pengukuran minggu (M) yang berbeda

Figure 5. Daily dissolved oxygen at pond C (4 peddle wheel) at different time (week) of measurement



Gambar 6. Nilai rata-rata kapasitas oksigen terlarut harian (kg O₂) di tambak udang percobaan

Figure 6. Mean value of daily dissolved oxygen (kg O₂) capacity in the experimental shrimp ponds



Gambar 7. Nilai rata-rata kapasitas oksigen terlarut harian (kg O₂) pada level oksigen kritis (3 mg/L) di tambak percobaan

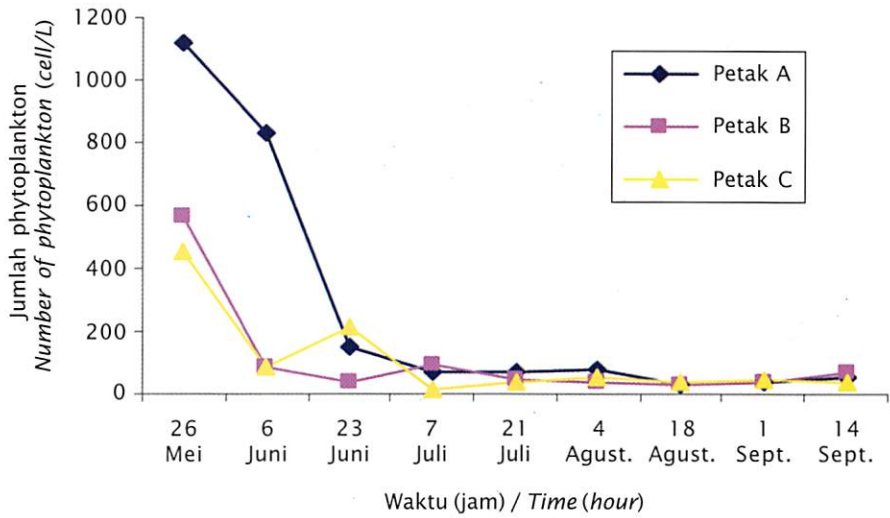
Figure 7. Mean value of daily dissolved oxygen (kgO₂) capacity at the critical oxygen level (3 mg/L) in the experimental shrimp ponds

udang vannamei tanpa pergantian air selama pemeliharaan dapat memproduksi sekitar 550 kg udang per horsepower (HP) kincir. Dalam studi ini diperoleh tingkat produksi tertinggi terjadi pada petak A (2 kincir) 594 kg/HP, disusul petak B (3 kincir) 496 kg/HP dan terendah petak C (4 kincir) 320 kg/HP kincir.

Peran kincir khususnya di siang hari terhadap kelarutan oksigen melalui proses difusi relatif sama untuk semua perlakuan jumlah kincir yang dicobakan dan tidak ada kecenderungan peningkatan oksigen terlarut seiring dengan peningkatan jumlah kincir. Pada siang hari diduga peran fitoplankton lebih dominan dalam memproduksi oksigen terlarut dibandingkan peran kincir melalui proses difusi oksigen dari udara ke dalam air tambak. Jenis plankton yang dominan adalah *Oscillatoria* sp., *Ulothrix* sp., *Acartia* sp., *Bidulphia* sp., *Calanus* sp., Naupli Copepoda. Tingginya oksigen terlarut yang terukur pada petak A terjadi pada saat kondisi kepadatan fitoplankton tinggi pada minggu pertama sampai ke-4 (Gambar 8) sehingga fluktuasi harian kapasitas oksigen terlarut di siang hari pada tambak A relatif lebih tinggi dibandingkan tambak B dan C (Gambar 6). Diduga penempatan 2 unit kincir di tambak A akan membentuk pola sirkulasi air tambak

dengan kecepatan yang relatif lambat sehingga memberikan peluang pemanfaatan nutrisi oleh fitoplankton dalam proses fotosintesis untuk menghasilkan oksigen terlarut dan proses perkembangan selnya. Sebaliknya kapasitas oksigen terlarut di malam hari pada tambak A relatif lebih rendah dibandingkan tambak B dan C diduga akibat pemanfaatan oksigen dalam proses respirasi yang lebih tinggi dan proses difusi yang lebih rendah.

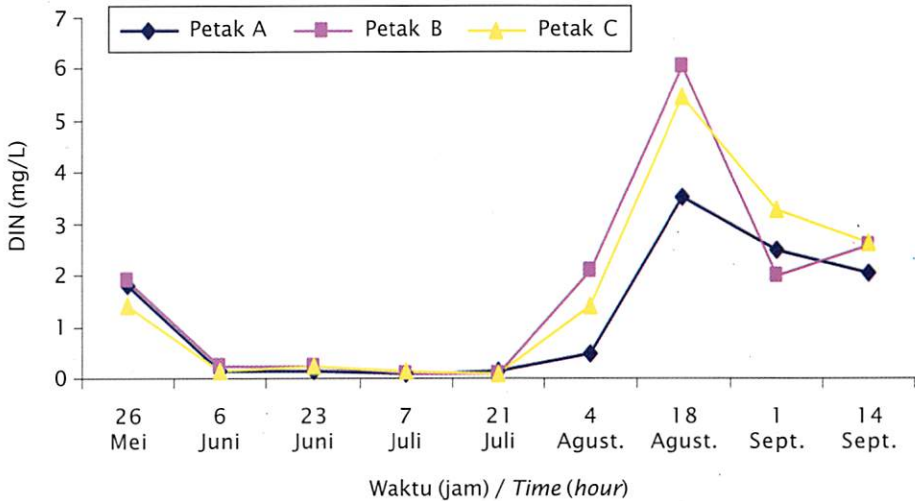
Jumlah dan penempatan aerator merupakan hal kritis untuk menciptakan pola arus dan mempertahankan level oksigen terlarut dalam air. Menurut McIntosh (2000), arus air dalam tambak perlu dipertahankan antara 6,0–12,0 meter per menit agar material organik tetap berada dalam kondisi tersuspensi dan jika kecepatan arus kurang dari 6 meter per menit maka material organik akan mengendap di dasar tambak. Nilai TSS petak A, B, dan C masing-masing mencapai 249,53 ± 102,88 mg/L; 249,28 ± 137,47 mg/L; dan 254,89 ± 143,55 mg/L. Nilai TSS inlet 128,11 ± 24,82 jauh lebih rendah dibandingkan TSS air tambak. Ini menunjukkan bahwa selama proses budi daya dihasilkan material organik yang terakumulasi di dalam tambak dan mencari pada meningkatnya nilai TSS air tambak.



Gambar 8. Kelimpahan fitoplankton di tambak percobaan
 Figure 8. Phytoplankton abundance in the experimental ponds

Nilai nitrogen inorganik terlarut (DIN) cenderung meningkat memasuki pemeliharaan bulan ke-3 (Gambar 9) seiring dengan meningkatnya jumlah beban limbah yang terakumulasi di dalam tambak. Semakin banyak kincir yang doperasikan maka jumlah DIN cenderung lebih tinggi. Perubahan N organik

menjadi N inorganik dalam proses nitrifikasi oleh bakteri nitrobacter dan nitrosomonas membutuhkan oksigen untuk proses oksidasi. Rataan fluktuasi oksigen terlarut harian pada petak B dan C cenderung lebih tinggi dibandingkan petak A. Dukungan ketersediaan oksigen terlarut yang memadai pada petak B



Gambar 9. Rataan nilai DIN (mg/L) air tambak percobaan selama pemeliharaan
 Figure 9. Mean DIN (mg/L) of ponds waters during the culture period

dan C cenderung memberikan peluang lebih besar terjadinya oksidasi dalam proses nitrifikasi oleh mikroorganisme di dalam tambak.

Volume air tambak dengan kedalaman 1 m pada kondisi awal, masing-masing adalah 2.500 m³ dan berfluktuasi antara 2.075—2.750 (2.443 ± 98) m³ selama pemeliharaan akibat pembuangan dan penambahan air serta *seepage* dan evaporasi (Tabel 3). Pergantian air selama pemeliharaan berkisar antara 5%—30% dari total volume air tambak atau 6.490—7.445 (7.050 ± 498) m³ selama periode pemeliharaan. Penambahan air lebih banyak dari jumlah air yang dibuang dan berkisar antara 10.870—11.765 (11.408 ± 474) m³. Kehilangan volume air juga terjadi akibat evaporasi yang dipicu oleh musim kemarau dengan intensitas sinar matahari yang tinggi dan hembusan angin di permukaan air tambak serta terjadinya *seepage* ke dalam tanah akibat porositas pematang dan tanah tambak. Laju evaporasi dan *seepage* mencapai 1,35—2,15 (1,76 ± 0,40) cm/hari atau sekitar 3.425—5.275 (4.308 ± 925) m³ selama pemeliharaan udang. *Water budget* dalam sistem tambak dipengaruhi oleh strategi pengelolaan air yang diterapkan oleh pembudi daya

udang. Pemasukan dan pengeluaran air tambak memiliki peran penting sebagai pelarut dan pembawa *nutrient* sehingga mempengaruhi dinamika *nutrient* baik di dalam tambak maupun di perairan pantai sebagai terminal *point* buangan air tambak. Karena itu, *water budget* air tambak perlu diketahui sebagai acuan pendugaan *nutrient budget* dalam tambak udang intensif.

Sistem tanpa ganti air (*zero water axchange system*) merupakan perubahan paradigma dalam budi daya udang *L. vannamei* dengan tingkat produktivitas udang mencapai 13.500 kg/ha (McIntosh, 2000) dan di Indonesia telah diterapkan oleh beberapa pembudi daya tambak di daerah Lampung dan Jawa Timur. Konsekuensinya adalah pembudi daya harus mengoperasikan kincir dalam jumlah yang memadai serta mengaplikasikan probiotik secara intensif untuk mempertahankan kualitas air dalam kondisi prima.

Perhitungan *water budget* dari studi ini diperoleh informasi bahwa untuk memproduksi 1 kg udang dibutuhkan jumlah air antara 17,4—20,4 (19,3 ± 1,6) m³ dan jumlah air ini akan

Tabel 3. Rataan *water budget* tambak udang *vannamei* pada perlakuan jumlah kincir yang berbeda
 Table 3. Mean *water budget* for 0.25 ha earthern shrimp production ponds used to test number of peddle wheel

Variabel (Variable)	Jumlah kincir Number of peddle wheel (pcs/0.25 ha pond)		
	2	3	4
Volume air awal (Initial fill) (m ³)	2,500	2,500	2,500
Volume air tambak Pond water volume (m ³)	2,100-2,750 (2,469 ± 85)	2,100-2,625 (2,407 ± 98)	2,075-2,700 (2,454 ± 99)
Air yang dikeluarkan (Water exchange) (m ³)	7,445	6,490	7,215
Air yang dimasukkan (Fill water) (m ³)	10,870	11,765	11,590
Air yang dikeluarkan saat panen (m ³)	2,375	2,300	2,325
Drain volume (m ³)			
Seepage dan Evaporasi (m ³) Seepage and Evaporation (m ³)	3,425	5,275	4,375
Rataan Seepage dan Evaporasi (cm/hari) Mean seepage and evaporation (cm/d)	1.35	2.15	1.78
Kebutuhan air per kg produksi udang Water volume per kg shrimp produced (m ³)	20.4	17.4	20

dibuang ke lingkungan perairan dengan nutrisi yang terlarut di dalamnya. Untuk itu, diperlukan teknologi budi daya yang hemat sumber daya air atau *zero water exchange system*. Pergantian air tambak melalui pembuangan sebagian volume air akan memberi konsekuensi pada lepasnya *nutrient N* dan *P* dari lingkungan tambak sebelum diubah melalui proses purifikasi secara alami. Fitoplankton dan tanaman air lainnya akan memanfaatkan amonia nitrogen, nitrat, dan *soluble inorganic phosphorus* untuk pertumbuhan. Karena itu, mempertahankan air dalam tambak dapat mengurangi beban buangan *N* dan *P* melalui proses purifikasi secara alami (Boyd, 1999). Nitrogen akan hilang ke udara melalui volatilisasi amonia dan denitrifikasi mikroba. Beberapa nitrogen akan terdapat dalam bentuk bahan organik yang dideposit pada dasar tambak dan *P* akan diabsorpsi oleh sedimen. Diduga sekitar 50% *N* dan 65% *P* yang ada di dalam pakan dapat dipindahkan melalui air pada tambak tanpa ganti air melalui proses fisika, kimia, dan biologi (Boyd, 1999).

Produksi Udang

Pertumbuhan udang *vannamei* selama periode 100 hari pemeliharaan mengalami pertambahan bobot mencapai 13,07–14,21 g/ekor (Tabel 4). Produksi biomassa udang saat panen masing-masing adalah 1.188 kg (petak

A), 1.489 kg (petak B), dan 1.281 kg (petak C) dengan sintasan masing-masing 66,86%; 87,63%; dan 78,42%. Nilai rasio konversi pakan (FCR) terendah terjadi pada petak B sebesar 1.69, diikuti petak C sebesar 1.78 dan tertinggi 2.14 pada petak A. Nilai FCR mengindikasikan tingkat efisiensi pemanfaatan pakan oleh udang sekaligus mempengaruhi *input* nutrisi pakan dan beban limbah nutrisi yang terbuang ke lingkungan perairan. Produksi udang yang diperoleh dalam studi ini jika dikonversi ke dalam satuan hektar antara 4.752–5.956 kg ha⁻¹ dengan kondisi salinitas air tambak antara 35–42 ppt masih lebih tinggi dibandingkan yang dilaporkan oleh Zelaya *et al.* (2002) yang memperoleh 4.648 kg ha⁻¹ pada padat penebaran yang sama 50 ekor m⁻² dengan kondisi salinitas antara 11–16 ppt selama periode pemeliharaan 140 hari. Hasil studi Hendradjat & Mangampa (2005) menunjukkan bahwa udang *vannamei* yang dibudidayakan secara tradisional plus dengan padat penebaran 4–8 ekor m⁻² pada rentang salinitas 42–47 ppt mampu menghasilkan produksi antara 400–777 kg/ha dengan sintasan 52,44%–60,97% dan bobot rata-rata 15,4 ± 0,9 g/ekor. Dari beberapa studi ini mengindikasikan bahwa udang *vannamei* cukup toleran terhadap perubahan rentang salinitas yang lebar dan mampu beradaptasi pada salinitas antara 10–47 ppt. Dengan demikian, peningkatan salinitas

Tabel 4. Produksi udang *Litopenaeus vannamei* pada berbagai perlakuan jumlah kincir
 Table 4. Shrimp production of *Litopenaeus vannamei* in different number of paddle wheel

Variabel (Variable)	Jumlah kincir Number of paddle wheel (unit/0.25 ha pond)		
	2	3	4
Padat penebaran Stocking density (ind/m ²)	50	50	50
Produksi udang Gross Yield Whole Shrimp (kg/0.25ha-100d)	1,188	1,489	1,281
Bobot rata-rata akhir (n=100) Average Final Weight (g/shrimp)	8.27–24.42	8.91–22.2	8.18–25.41
Sintasan (Survival) (%)	(14.21 ± 2.41)	(13.59 ± 2.18)	(13.07 ± 2.43)
Pakan yang diberikan (Feed given) (kg)	66.86	87.63	78.42
Rasio konversi pakan Feed Conversion Ratio	2,543	2,518	2,425
Retensi N (N retention) (%)	2.14	1.69	1.89
Retensi P (P retention) (%)	33.14	37.23	32.87
Retensi P (P retention) (%)	16.46	18.15	17.12

air tambak dari 35 ppt pada awal penebaran menjadi 42 ppt di akhir pemeliharaan relatif tidak memicu alokasi energi yang lebih besar untuk proses osmoregulasi sehingga pertumbuhan udang relatif sama baik pada kondisi salinitas rendah maupun tinggi.

Penggunaan 3 unit kincir per petak cenderung menghasilkan produksi, sintasan, dan nilai FCR lebih baik dibandingkan penggunaan kincir 2 dan 4 unit per petak. Penambahan unit kincir tidak diikuti secara linier oleh peningkatan produktivitas udang. Hal ini diduga terkait dengan kapasitas pasok oksigen ke dalam perairan tambak yang dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan kelarutan oksigen serta pola sirkulasi air yang terjadi akibat posisi penempatan kincir. Sirkulasi air dalam tambak sebagai akibat dari operasional kincir yang berlebih juga dapat mempengaruhi pengikisan dan pelarutan tanah pematang tambak sehingga meningkatkan kekeruhan dan siltasi. Selisih Total Suspended Solid (TSS) air tambak antara yang dibuang dan air yang dimasukkan ke dalam tambak selama pemeliharaan udang dapat mencapai 1.139 kg pada petak C (4 kincir), 1.100 kg petak B (3 kincir), dan 889 kg pada petak A dengan 2 kincir. Semakin banyak kincir yang digunakan, semakin besar TSS air tambak sebagai akibat gerusan tanah pematang tambak serta pengadukan dan pelarutan bahan organik dari dasar tambak.

Nutrient Budget

Input Nutrient. Nutrien yang masuk ke dalam sistem tambak berasal dari benih udang, *inflow* air tambak, pupuk, dan media probiotik serta pakan. Jumlah udang yang ditebar ke tambak sebanyak 125.000 ekor/0,25 ha atau <0,125 kg dan hanya memberikan kontribusi N dan P yang sangat kecil masing-masing 0,01 kgN dan 0,0006 kgP (Tabel 5). Sumber lain *nutrient* yang masuk ke dalam sistem tambak adalah berasal dari penggunaan pupuk urea (46% N) sebanyak 25 kg dan TSP (36% P) sebanyak 21 kg selama pemeliharaan udang untuk mempertahankan pertumbuhan populasi plankton. Kontribusi *nutrient* pupuk masing-masing sebanyak 11,50 kgN dan 7,56 kgP. Dalam proses budi daya udang vannamei digunakan probiotik untuk mempertahankan kualitas air tambak dalam kondisi prima. Tepung ikan dengan kadar protein mencapai 8,8%N dan 1,48%P merupakan salah satu media kultur fermentasi probiotik sebelum diaplikasikan ke tambak. Penggunaan tepung ikan sebagai media penumbuh probiotik mencapai 12,2 kg atau

menyumbangkan masing-masing sebanyak 1,07 kgN dan kgP.

Pakan merupakan pasokan utama *nutrient* dalam sistem tambak udang intensif. Jumlah pakan yang digunakan selama pemeliharaan udang antara 2.425—2.543 kg yang mengandung *nutrient* 4,8%N dan 3,78%P atau memberikan kontribusi *nutrient* masing-masing antara 106,4259—111,4732 kgN dan 83,4254—87,5064 kgP. Retensi nutrien N dan P dalam karkas udang masing-masing antara 32,87—37,23 (34,41 ± 2,44)% dan 16,46-18,15 (17,12 ± 0,85)%. Kontribusi N dan P yang berasal dari pakan terhadap beban limbah akan dipengaruhi oleh nilai FCR dan retensi nutrien dalam biomassa udang. Semakin tinggi nilai efisiensi pakan dan retensi nutrien, maka *output nutrient* sebagai beban limbah semakin rendah. Rasio konversi nitrogen pakan terhadap nitrogen udang terendah terjadi pada petak B 2,69, kemudian petak A dan C masing-masing 3,02 dan 3,04, sementara rasio konversi P pakan terhadap P udang terendah terjadi pada petak B yaitu 5,51; disusul petak C dan A masing-masing 5,58 dan 6,07. Rasio konversi N dan P juga berkorelasi dengan rasio konversi pakan.

Perbedaan antara jumlah N dan P yang terdapat di dalam pakan dan udang yang diproduksi merupakan jumlah beban N dan P yang masuk ke dalam air tambak. Pada tingkat produktivitas tambak antara 1.188—1.489 kg maka untuk memproduksi satu ton udang vannamei diperlukan sebanyak 73,8756—93,8327 (83,5962 ± 9,9885) kgN pakan dan 58,1770—73,6586 (65,6536 ± 7,7543) kgP pakan.

Kontribusi nutrien terbesar kedua setelah pakan adalah *inflow* air tambak yang berasal dari nutrien inorganik dan organik. Total Nitrogen (TN) inorganik dan TP inorganik didasarkan pada konsentrasi ambient nutrien DIN dan *phosphorous* serta volume air tambak. Jumlah TN *inflow* berkisar antara 4,9101—5,7929 kgN dan TP *inflow* antara 0,7096—1,1013 kgP. Sedangkan TN organik dihitung berdasarkan konsentrasi bahan organik terlarut (BOT) air tambak yang terukur. Mengacu pada rasio C:N:P (106:16:1) maka TN organik dan TP organik *inflow* masing-masing mencapai 48,0420—51,0467 kgN dan 3,0026—3,1904 kgP. Dengan demikian jumlah TN dan TP *inflow* air tambak masing-masing adalah 52,9521—56,8396 kgN dan 3,7122—4,2917 kgP.

Total *input* nutrien tambak udang vannamei antara 171,9155—179,3778 (176 ± 3,9586) kgN dan 95,2533—99,4180 (97,8340 ± 2,3348) kgP.

Tabel 5. Jumlah komposisi nutrisi benur, pakan, pupuk, dan media probiotik pada setiap petak percobaan dengan jumlah kincir yang berbeda
 Table 5. Quantity of nutrient composition of shrimp stocked, feed given, fertilizer, and probiotic media on each pond in different number of peddle wheel

Variabel (Variable)	Jumlah kincir Number of peddle wheel (pcs/0.25 ha pond)		
	2	3	4
Benih yang ditebar (Shrimp stocked)			
Bobot benih (Seed weight) (kg of wet weight)	0.125	0.125	0.125
Bahan kering (Dry matter) (%)	31.53	31.53	31.53
Nitrogen (% of dry weight)	8.52	8.52	8.52
Phosphorus (% of dry weight)	1.52	1.52	1.52
N benih (Nitrogen as shrimp stocked) (kg)	0.0103	0.0103	0.0103
P benih (Phosphorous as shrimp stocked) (kg)	0.0006	0.0006	0.0006
Pakan yang diberikan (Feed given)			
Jumlah yang diberikan (Quantity added) (kg)	2,543	2,518	2,425
Bahan kering (Dry matter) (%)	91.03	91.45	91.32
Nitrogen (% of dry weight)	4.8	4.8	4.8
Phosphorus (% of dry weight)	3.78	3.78	3.78
N pakan (Nitrogen added as feed) (kg)	111.473	110.001	106.426
P pakan (Phosphorous added as feed) (kg)	87.5064	86.6255	83.4254
Pupuk (Fertilizer)			
Urea-46%N (kg)	25	25	25
TSP-36%P (kg)	21	21	21
Nitrogen (kg)	11.5	11.5	11.5
Phosphorous (kg)	7.56	7.56	7.56
Tepung ikan (Fish meal-8.42%N, 3.73%P) (kg)			
	12.2	12.2	12.2
Nitrogen (kg)	1.0272	1.0272	1.0272
Phosphorous (kg)	0.4551	0.4551	0.4551

Sebagian besar nitrogen yang masuk ke dalam tambak bersumber dari pakan yaitu $61,96\% \pm 0,66\%$, kemudian disusul *inflow* sebesar $30,93\% \pm 0,70\%$, dan pupuk sebesar $6,52\% \pm 0,15\%$, media probiotik dan benur masing-masing $< 1\%$ (Gambar 10). Pola yang sama juga terjadi pada *phosphorous* dengan komposisi $87,75\% \pm 0,24\%$ dari pakan; $7,73\% \pm 0,19\%$ pupuk; $4,05\% \pm 0,25\%$ dari *inflow* dan persentase terkecil kurang dari 1% berasal dari media probiotik dan benur (Gambar 11). Dalam studi ini, peran nutrisi pakan sangat dominan dalam *nutrient budget* tambak intensif udang vannamei. Teichert-Coddington *et al.* (1996) melaporkan bahwa

pakan udang memberikan kontribusi nutrisi antara $40\%TN$ dan $54\%TP$, bahkan dengan sistem budi daya tanpa ganti air, Boyd (1985) mendapatkan antara $88,3\%—92,3\%TN$ dan $74,5—95,9\%TP$.

Output Nutrient. Air yang dikeluarkan dari tambak (*outflow*) terdiri atas air yang dibuang saat pergantian air sebanyak $5\%—30\%$ atau sebanyak $6.490—7.445 \text{ m}^3$ selama periode pemeliharaan dan air tambak yang dibuang saat panen sebanyak $2.300—2.375 \text{ m}^3$. Dari seluruh air buangan tambak (*outflow*) mengandung nutrisi masing-masing $48,8785—57,4298$

(52,5163 ± 4,4161) kgN dan 2,9469—3,3330 (3,0247 ± 0,2777) kgP.

Sumber lain untuk *output* nutrisi adalah yang berasal dari biomassa udang saat panen sebanyak 1.188—1.489 kg. Retensi TN dan TP yang terdapat dalam biomassa udang yang dipanen sebagai *output nutrient* masing-masing antara 34,9952 — 40,9625 (37,6351 ± 3,0425) kgTN dan 14,2773—15,9855 (14,8909 ± 0,9503) kgTP (Tabel 6). Nilai retensi N dan P pada karkas udang masing-masing mencapai 32,87%—37,23%TN dan 16,46%—18,15%TP sehingga beban limbah pakan dalam budi daya udang vannamei masing-masing mencapai 69,0485—74,5358 kgN dan 69,1452—73,1017 kgP. Beban limbah pakan yang diperoleh dari studi ini jauh lebih besar dibandingkan yang dilaporkan oleh Boyd (1999), yaitu 12,6—21 kgN dan 1,8—3,6 kgP per ton produksi udang pada tingkat FCR 1,5 dan akan meningkat seiring dengan meningkatnya produktivitas udang, dan meningkatnya FCR (Teichert-Coddington *et al.*, 1996). Namun hasil studi Briggs & Funge-Smith (1994), memperoleh beban limbah TN dari budi daya tambak udang di Thailand mencapai 102,3 kg/ton produksi udang lebih tinggi dibandingkan hasil studi ini. Rasio konversi N pakan terhadap N karkas

udang berkisar antara 2,68—3,04 (2,91 ± 0,20) dan rasio konversi P pakan terhadap P karkas udang berkisar 5,51—6,07 (5,81 ± 0,28).

Lumpur yang mengendap di dasar tambak sebagian besar akan terbuang keluar bersamaan dengan pengeluaran air tambak di waktu panen. Berdasarkan estimasi laju sedimentasi yang diperoleh dari pemasangan sedimen trap diketahui bahwa jumlah sedimen selama pemeliharaan udang mencapai 2.521—3.230 kg sedimen atau setara dengan 17,2869—20,0272 (18,3443 ± 1,4733) kgN dan 32,8564—45,9148 (38,2136 ± 6,8375) kgP.

Total *output* nitrogen tambak udang vannamei antara 107,1279—110,1438 (108,4957 ± 1,5274) kgN dan 51,6362—63,6576 (56,1292 ± 6,5604) kgP (Tabel 7). Sebagian besar *output* nitrogen bersumber dari *outflow* sebanyak 29,82% ± 3,20%; kemudian udang yang dipanen sebanyak 21,32% ± 1,33%; lumpur atau *sludge* 10,40% ± 0,81% (Gambar 10). Komposisi *output phosphorous* didominasi oleh lumpur sebanyak 39,03% ± 6,59%; kemudian udang yang dipanen 15,22% ± 0,85% dan *out-flow* 3,09% ± 0,26% (Gambar 11).

Selisih antara jumlah *input* nutrisi dengan *output* nutrisi dikelompokkan ke dalam nutrisi

Tabel 6. Produksi udang, jumlah lumpur, dan konsentrasi nutrisi pada udang dan lumpur pada setiap petak percobaan dengan jumlah kincir yang berbeda
 Table 6. *Shrimp harvest and sludge quantity, and nutrient concentration of shrimp harvest and sludge on each pond in different number of peddle wheel*

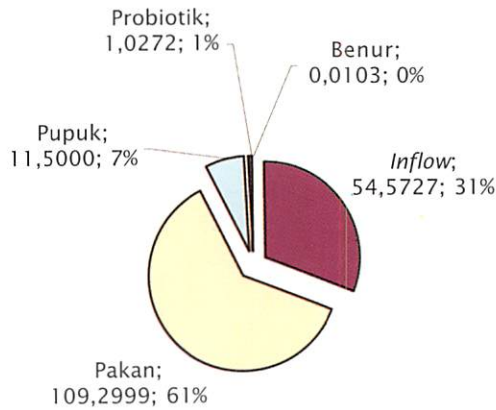
Variabel (Variable)	Jumlah kincir Number of peddle wheel (pcs/0.25 ha pond)		
	2	3	4
Udang yang dipanen (Shrimp harvested)			
Jumlah yang dipanen <i>Quantity of harvested</i> (kg of wet weight)	1,188	1,489	1,281
Bahan kering (<i>Dry matter</i>) (%)	28.54	25.38	25.74
Nitrogen (% of dry weight)	10.9	10.84	10.61
Phosphorus (% of dry weight)	4.25	4.32	4.33
N udang (<i>Nitrogen as shrimp harvested</i>) (kg)	36.9477	40.9625	34.9852
P udang (<i>Phosphorous as shrimp harvested</i>) (kg)	14.4062	15.721	14.2817
Lumpur (Sludge)			
Sedimentasi (<i>Sedimentation</i>) (kg/0.25 ha-100d)	2,829	3,120	3,154
Nitrogen (kg)	20.0272	17.2869	17.7188
Phosphorous (kg)	45.9148	32.8564	35.8697

Tabel 7. *Nutrient budget* tambak udang vannamei dengan jumlah kincir yang berbeda
 Table 7. *Nutrient budget of shrimp ponds in different number of peddle wheel*

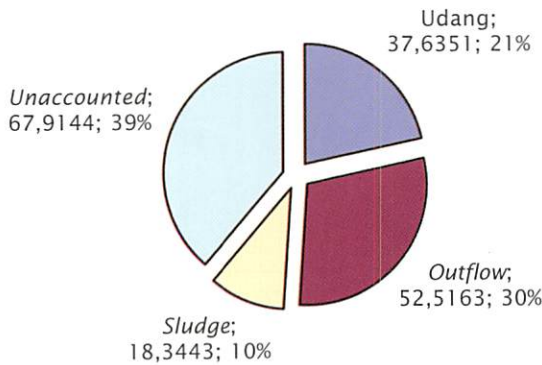
Variabel (Variable)	Jumlah kincir Number of peddle wheel (pcs/0.25 ha pond)		
	2	3	4
Input nitrogen (Nitrogen input)			
Benur (Seed) (kg)	0.0103	0.0103	0.0103
Air (Water) (kg)	53.9265	56.8396	52.9521
Pakan (Feed) 4,8%N (kg)	111.473	110.001	106.426
Pupuk (Fertilizer) 46%N (kg)	11.5	11.5	11.5
Tepung ikan (Fish meal) 8.42%N (kg)	1.0272	1.0272	1.0272
Total Input Nitrogen (kg)	177.937	179.378	171.916
Output nitrogen (Nitrogen output)			
Udang dipanen (Shrimp harvest) (kg)	36.9477	40.9625	34.9952
Air (Water) (kg)	51.2406	48.8785	57.4298
Lumpur (Sludge) (kg)	20.0272	17.2869	17.7188
Total output nitrogen (kg)	108.216	107.128	110.144
<i>Input-Output of Nitrogen (kg) unaccounted</i>	69.7217	72.2499	61.7717
Input phosphorus (Phosphorous input)			
Benih (Seed) (kg)	0.0006	0.0006	0.0006
Air (Water) (kg)	3.8959	4.2917	3.7122
Pakan (Feed) 3.78% P (kg)	87.5064	86.6255	83.4254
Pupuk (Fertilizer) 36% P (kg)	7.56	7.56	7.56
Tepung ikan (Fish meal) 3.73% P (kg)	0.4551	0.4551	0.4551
Total input (kg)	99.418	98.9329	95.2533
Output Phosphorous (Phosphorous output)			
Udang dipanen (Shrimp harvest) (kg)	14.4098	15.9855	14.2773
Air (Water) (kg)	3.333	2.7943	2.9469
Lumpur (Sludge) (kg)	45.9148	32.8564	35.8697
Total output Phosphorous (kg)	63.6576	51.6362	53.0939
<i>Input-Output of Phosphorous (kg)</i>	35.7604	47.2967	42.1594

yang tidak dihitung. Boyd (1985) menerangkan bahwa jumlah *phosphorous* yang tidak dihitung tidak akan dapat terdeteksi secara analitik jika tergabung ke dalam lumpur. Jumlah nutrisi yang tidak dihitung kemungkinan berkaitan dengan hilangnya nutrisi melalui proses denitrifikasi di dalam sedimen (Lin *et al.*, 1997; Teichert-Coddington *et al.*, 1997) dan amonia volatilisasi serta pemanfaatan oleh fitoplankton. Dalam studi ini tidak menghitung jumlah nitrogen dalam air tambak yang difiksasi oleh

alga, tetapi fiksasi nitrogen mungkin penting untuk pendugaan *nutrient budget* tambak udang. Pada petak B, jumlah *output N* yang tidak dihitung adalah 72,2499 kgN atau 40%, lebih tinggi dibandingkan petak A dan C masing-masing 69,7217 kgN atau 39% dan 61,7717 kgN atau 36% (Gambar 9). Briggs & Funge-Smith (1994) melaporkan bahwa 44% dari *input nitrogen* tidak terdeteksi di dalam air buangan atau daging udang dari tambak di Thailand. Teichert-Coddington *et al.* (1997) mendapatkan



Input TN (Kg)



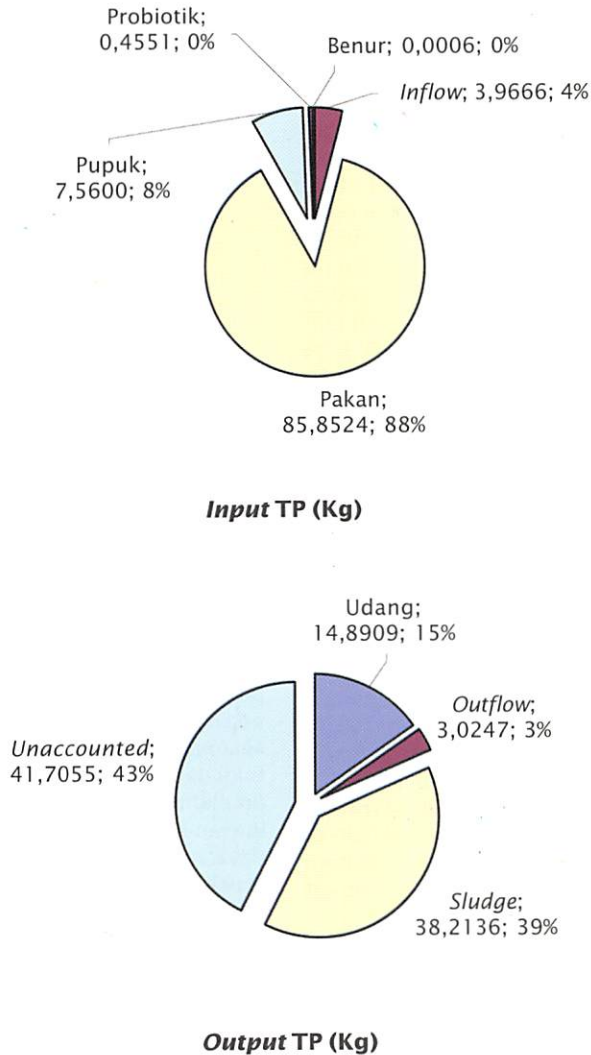
Output TN (Kg)

Gambar 10. Komposisi input (atas) dan output (bawah) TN di tambak udang vannamei

Figure 10. Composition of mean input (upper) and output (below) of TN in *L. vannamei* pond

output N yang tidak terhitung mencapai 66,3 kg atau 42% dari total input 156,8 kgN pada kondisi padat penebaran udang *L. vannamei* 24 ekor/m², protein pakan 30% dan feeding rate tinggi, produksi 668 kg/ha, dan FCR 3,66. Total phosphorous yang tidak terhitung pada petak B juga paling tinggi mencapai 47,2967 kgP atau 48% (Gambar 10). Tingginya output

nutrien yang tidak terhitung diduga sebagai akibat proses adsorpsi dalam sedimen. Lapisan sedimen tambak dari permukaan sampai beberapa sentimeter mengandung nutrien yang lebih tinggi dibandingkan kolom air di atasnya (Avnimelech *et al.*, 1984) karena sedimen memegang peranan penting dalam keseimbangan sistem akuakultur yang berfungsi sebagai



Gambar 11. Komposisi rata-rata *input* (atas) dan *output* (bawah) TP di tambak udang vannamei
 Figure 11. Composition of mean input (upper) and output (below) of TP in *L. vannamei* pond

buffer untuk konsentrasi nutrisi air (Chien *et al.*, 1989) dan mekanisme hilangnya P di tambak akibat afinitas lumpur yang kuat untuk mengikat *phosphorous* (Shrestha & Lin, 1996).

Meningkatnya tekanan lingkungan yang dihadapi oleh industri budi daya, mengharuskan kegiatan budi daya mengurangi volume buangan air limbah dan memperbaiki kualitas air limbah. Hasil studi ini menginformasikan adanya perbaikan pemahaman tentang *nutrient*

budget khususnya untuk tambak intensif udang vannamei. Penggunaan kincir dalam tambak intensif udang vannamei merupakan suatu keharusan untuk mempertahankan kualitas air dalam kondisi prima bagi kehidupan udang dan proses kehidupan lainnya di dalam tambak. Namun optimasi jumlah kincir perlu diperhitungkan karena terkait dengan biaya operasional budi daya. Pada petak C (4 kincir per 0,25 ha) dengan kondisi salinitas selama pemelihan

raan udang antara 35—42 ppt tidak banyak membantu meningkatkan kapasitas oksigen terlarut sehingga tingkat produktivitas tambak C sebesar 1.281 kg/petak masih lebih rendah dibandingkan petak B (3 kincir) dengan produksi 1.489 kg/petak, namun lebih tinggi dari petak A (2 kincir) dengan produksi 1.188 kg/petak. Mengacu pada *level* oksigen kritis 3 mg/L, maka aplikasi 2 kincir/0,25 ha dengan padat penebaran 50 ekor/m² telah terjadi defisit oksigen terlarut antara pukul 23.00—06.00 sehingga dapat berisiko tinggi terhadap kegagalan budi daya. Nilai sintasan dan FCR sebagai indikator efisiensi budi daya juga memiliki pola yang sama. Sementara beban limbah yang terbuang ke lingkungan perairan mencapai 108,4957 ± 1,5274 kgN dan 56,1292 ± 6,5604 kgP. Nilai rataan beban limbah TN relatif homogen untuk semua petak percobaan, artinya jumlah kincir yang dicobakan tidak berpengaruh nyata terhadap beban limbah TN. Sedangkan beban limbah TP memiliki koefisien variasi sebesar 11,7% dan petak B menghasilkan beban limbah TP sebesar 51,6362 kgP lebih rendah dibandingkan petak C (53,0939 kgP) dan petak A (63,6576 kgP). Dari aspek kajian *nutrient budget*, maka ketiga perlakuan jumlah kincir tidak memberikan respons yang signifikan terhadap beban limbah yang dihasilkan. *Nutrient budget* yang diperoleh dari studi ini sangat ditentukan oleh strategi pengelolaan budi daya yang diaplikasikan di antaranya manajemen air tambak, strategi pemberian pakan yang tepat dan tingkat produksi udang yang diperoleh.

Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimasi beban limbah budi daya di antaranya adalah: (1) Meningkatkan efisiensi pakan yang tercermin pada rendahnya nilai FCR. Nilai FCR antara 1,0—1,2 merupakan nilai yang optimal yang paling diharapkan. (2) Pengontrolan *feeding regime* terkait dengan penentuan dosis dan frekuensi pemberian pakan. (3) Meningkatkan pemahaman tentang keterpaduan antara praktek budi daya yang diaplikasikan dengan *feeding behavior* serta *nutritional physiology* dari spesies atau komoditas yang dibudidayakan. (4) Meminimasi jumlah pakan yang hilang atau tidak termakan karena menjadi sumber utama limbah budi daya.

KESIMPULAN

1. Budi daya udang vannamei dengan padat penebaran benur 50 ekor m² menghasilkan produksi udang antara 1.188—1.489 kg/0,25 ha dan FCR 1,69—2,14, membutuhkan

total *input* nutrisi antara 171,9155—179,3778 (176 ± 3,9586) kgN dan 95,2533—99,4180 (97,8340 ± 2,3348) kgP.

2. Pakan mendominasi *input* N sebesar 61,96% ± 0,66%, disusul *inflow* 30,93% ± 0,70%; pupuk 6,52% ± 0,15%; serta media probiotik dan benur masing-masing <1%. Pola yang sama terjadi pada *input phosphorous* dengan komposisi 87,75% ± 0,24% dari pakan; 7,73% ± 0,19% pupuk; 4,05% ± 0,25% *inflow* dan media probiotik <1%.
3. Total *output* nitrogen antara 107,1279—110,1438 (108,4957 ± 1,5274) kgN dan 51,6362—63,6576 (56,1292 ± 6,5604) kgP. *Output* nitrogen yang berasal dari *outflow* sebanyak 29,82% ± 3,20%; kemudian udang yang dipanen 21,32% ± 1,33%, lumpur atau *sludge* 10,40% ± 0,81%. Sedangkan komposisi *output phosphorous* didominasi oleh lumpur 39,03% ± 6,59%, disusul udang yang dipanen 15,22% ± 0,85% dan *outflow* 3,09% ± 0,26%.

SARAN

Studi tentang kapasitas asimilasi perairan pesisir untuk menopang kegiatan budi daya udang menjadi penting dilakukan. *Total Maximum Daily Loads* dan karakterisasi limbah budi daya dari suatu kawasan budi daya perlu diketahui sebagai acuan menetapkan optimasi luasan kawasan pantai bagi peruntukan budi daya. Kegiatan ini membutuhkan keterpaduan aspek kajian meliputi budi daya, nutrisi, biofisik lingkungan, hidro-oseanografi, rekayasa budi daya, dan sosial ekonomi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih kepada Reni Yulianingsih, Rosni, Rosiana Sabang, Sutrisyani, Siti Rohani, Syarijannah, dan Kurni untuk analisis di laboratorium serta Mat Fahrur yang membantu pelaksanaan teknis di lapangan. Penelitian ini didanai oleh Balai Riset Perikanan Budi daya Air Payau Maros melalui DIPA No: 027.0/032-11.0/XXIII/2005 tahun anggaran 2005.

DAFTAR PUSTAKA

- Avnimelech, Y., J.R. McHenerly, and D.J. Ross. 1984. Decomposition of organic matter in lake sediments. *Environmental Science and Technology*, 18(1): 5—11.
- Barg, U.C. 1992. Guidelines for the promotion of environmental management of coastal aquaculture development. *FAO Fisheries Technical Paper* 328, FAO, Rome, 122 pp.

- Boyd, C.E., 1985. Chemical budgets for channel catfish ponds. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 114: 241—298.
- Boyd, C.E., L. Massaut, and L.J. Weddig. 1998. Towards reducing environmental impacts of pond aquaculture. *INFOFISH International* 2/98, p. 27—33.
- Boyd, C.E. 1999. Management of shrimp ponds to reduce the eutrophication potential of effluents. *The Advocate*, December, 1999, p. 12—14.
- Boyd, C.E. 2000. Case studies of world shrimp farming. *Global Aquaculture Alliance, The Advocate*, Vol. 3, Issue 2, April 2000, p. 11—12.
- Briggs, M.R.P. and S.J. Funge-Smith. 1994. A nutrient budget of some intensive marine shrimp ponds in Thailand. *Aquacult. Fish Manage*, 25: 789—811.
- Chien, Y.H. and H.T. Lain. 1988. The effect of aged sediments and stocking density on freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* culture. *J. World Aquaculture Soc.*, 19(1): 22—2A.
- Garcia-Ruiz, R. and G.H. Hall. 1996. Phosphorus fraction and mobility in the food and faeces of hatchery reared rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 145(1996): 183—193.
- Grant, W.E., E.K. Pedersen, and S.L. Martin. 1997. *Ecology and Natural Resource Management: System Analysis and Simulation*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 373 pp.
- Green, B.W., D.R. Teichert-Coddington, C.E. Boyd, J.L. Harvin, H. Corrales, R. Zelaya, D. Martinez, and E. Ramirez. 1997. The effects of pond management strategies on nutrient budgets: Honduras. Fourteenth Annual Technical Report. Pond Dynamic/Aquaculture Collaborative Research Program, International Research and Development, Oregon State University, Covallis, OR, USA. <http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/technical/14tchpdf/2.a.1.pdf> [5-7-2004], 8 pp.
- Hendradjat, E. dan M. Mangampa. 2005. Revitalisasi bekas tambak udang windu intensif yang terlantar menjadi tambak udang vannamei tradisional plus. *Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau*, Maros, 8 pp.
- HPS (High Performance System). 1996. *Stella Software Ver. 402*. High Performance System, Inc.
- Horowitz, A. and S. Horowitz. 2000. Microorganisms and feed management in aquaculture. *Global Aquaculture Alliance, The Advocate*, Vol. 3, Issue 2, April 2000, p. 33—34.
- 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.
- Latt, U.W. 2002. Shrimp pond waste management. *Aquaculture Asia*, July-September 2002 (Vol.VII No.3): 11—16.
- Li, C.K. 1989. Prawn culture in Taiwan. *World Aquaculture*, 20(2): 12—20.
- Lin, C.K., Y. Yi, and J.S. Diana. 1997. The effects of pond management strategies on nutrient budgets: Thailand. *Global Studies and Activities. Fourteenth Annual Technical Report. Pond Dynamic/Aquaculture Collaborative Research Program, International Research and Development, Oregon State University, Covallis, OR, USA.* <http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/technical/14tchpdf/2.a.1.pdf> [5-7-2004], 6 pp.
- McIntosh, R. 2000. Changing paradigms in shrimp farming: III. Pond design and operation considerations. *Advocate February 2000, Volume III Issue, 1: 42—45.*
- Montoya, R. and M. Velasco. 2000. Role of bacteria on nutritional and management strategies in aquaculture systems. *Global Aquaculture Alliance, The Advocate*, Vol. 3, Issue 2, April 2000, p. 35—38.
- Li, C.K. 1989. Prawn culture in Taiwan, 1989. *World Aquaculture*, 20(2): 19—20.
- Pasaribu, A.M., M. Mangampa, dan H. Padda. 1990. Analisis ekonomi budidaya udang semi-intensif dan intensif (Studi kasus Desa Garongkong Kecamatan Barru, Sulawesi Selatan). *J. Penel. Budidaya Pantai*, 4(1): 119—131.
- Phillips, M.J., R. Clarke, and A. Mowat. 1993. Phosphorus leaching from Atlantic Salmon diets. *Aquacultural Engineering*, 12(1993): 47—54.
- Piedrahita, R. and Lu, Z. Model for determining aquaculture pond water quality and effluent characteristics. [http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/workplns/wp_9/9smr2.html]. [5-7-2004].
- Shrestha, M.K. and C.K. Lin. 1996. Phosphorus fertilization strategy in fish ponds based on sediment phosphorus saturation level. *Aquaculture*, 142: 207—219.

- Siddiqui, A.Q. and A.H. Al-Harbi. 1999. Nutrient budgets in tanks with different stocking densities of hybrid tilapia. *Aquaculture*, 17: 245—252.
- Soley, N., A. Neiland, and D. Nowell. 1994. An economic approach to pollution control in aquaculture. *Marine Pollution Bulletin*, 28(3): 170—177.
- Teichert-Coddington, D.R., D. Martinez, and E. Ramirez. 1996. Characterization of shrimp farm effluents in Honduras and chemical budgets of selected nutrients. p: 136—146. *In*: Egna, H., Goetze, B., Burke, D., McNamara, M., and Clair, D. (Eds.). Thirteenth Annual Technical Report. Pond Dynamic/Aquaculture Collaborative Research Program, International Research and Development, Oregon State University, Covallis, OR, USA. [<http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/technical/13tchhtml/2.b.1/2.b.1.html>]. [6-07-2004].
- Teichert-Coddington, D.R., B. Green, C.E. Boyd, J.L. Harvin, R. Rodriguez, D. Martinez, and E. Ramirez. 1997. Effect of diet protection on food conversion and nitrogen discharge during semi-intensive production of *Penaeus vannamei* during the wet season. Fourteenth Annual Technical Report. Pond Dynamic/Aquaculture Collaborative Research Program, International Research and Development, Oregon State University, Covallis, OR, USA. [<http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/technical/14tchhtml/2/2b/2b1/2b1.html>]. [6-07-2004], 6 pp.
- Zelaya, O., C.E. Boyd, D.R. Teichert-Coddington, and B.W. Green. 2002. Effects of water recycling on water quality and bottom soils in shrimp ponds. p. 107—120. *In*: McElwee, K., Lewis, K., Nidiffer, M., Buitragi, P. (Eds.), Nineteenth Annual Technical Report. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Oregon State University, Corvallis, Oregon. [<http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/technical/19tchhtml/9ER4.html>]. [6-07-2004].