

KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN PENERAPAN TEKNOLOGI BIOFLOK PADA KEGIATAN BUDIDAYA UDANG VANAME DENGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT*

Ma'in⁽¹⁾, Sutrisno Anggoro^(1,2), Setia Budi Sasongko^(1,3)

(1) Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Email: mainspi@yahoo.com

(2) Jurusan Perikanan, FPIK, Universitas Diponegoro, Email: sutrisno.anggoro@yahoo.co.id

(3) Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Email: sbudisas@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penerapan teknologi bioflok pada kegiatan budidaya vaname perlu dievaluasi, terkait penggunaan sumberdaya alam dan energi listrik yang berpotensi mengakibatkan dampak lingkungan disertai biaya investasi yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak lingkungan dan menentukan strategi pengelolaan budidaya udang berbasis teknologi bioflok. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan menggunakan metode penaksiran daur hidup. Kajian dibatasi pada kegiatan pembesaran di tambak "cradle to farm gate", unit yang digunakan adalah produksi 1 ton udang vaname. Hasil penelitian ini menunjukkan teknologi bioflok mampu meningkatkan produksi per satuan luas lahan yang digunakan dengan ukuran panen $\pm 16,4$ gr/ekor; nilai FCR 1,3, SR 86 - 92%, dan SGR 15,6%. Produksi per ton udang vaname menghasilkan dampak: acidification (Acd); 63.39 ± 15.37 kg SO_2 eq, eutrophication (Eut); 14.10 ± 3.28 kg PO_4 eq, ; global warming potential (GWP); $7336.77 \pm 1,46$ kg CO_2 eq, ; dan cumulative energy use (CEU) sebesar $101,64 \pm 18.84$ GJ. Strategi pengelolaan perlu dilakukan dengan perbaikan manajemen pemberian pakan berbasis kualitas air, pengurangan konsumsi energi listrik, menerapkan panen bertahap dan menambahkan kolam pengolahan limbah.

Kata Kunci: kajian, lingkungan, bioflok, budidaya udang.

ABSTRACT

The application of biofloc technology on white shrimp farming activities needs to be evaluated, related to the use of natural resources and electrical energy that could potentially result in environmental impacts with high investment costs. The purpose of the research is to analyze environmental impact and determine management strategies of shrimp farming based biofloc technology. This study is a quantitative descriptive research using life cycle assessment method. The study is limited to farming activities in the pond "cradle to farm gate", the unit used is the production of 1 ton of white shrimp. The results demonstrate that bioflok technology is able to increase production per unit area of land used to harvest size. ± 16.4 g/ head with value of FCR 1.3, SR 86 - 92%, and 15.6% of SGR. Production per ton of white shrimp : acidification (Acd): 63.39 ± 15.37 kg SO_2 eq, ; eutrophication (Eut): 14.10 ± 3.28 kg PO_4 eq, ; global warming potential (GWP) : $7336.77 \pm 1,460$ kg CO_2 eq and cumulative energy use (CEU): $101, 64 \pm 18,84$ GJ. Management strategies need to be done with improved feeding management based on water quality, reduction in electrical energy consumption, implementing partial harvest and add the sewage treatment ponds.

Keyword: assessment, environmental, biofloc, shrimp farming

1. Pendahuluan

Populasi penduduk dunia pertengahan 2012 mencapai 7,058 milyar dan diprediksi akan meningkat menjadi 8,082 milyar pada tahun 2025 (Population Reference Bureau, 2012). Meningkatnya populasi penduduk dunia akan meningkatkan eksploitasi sumberdaya alam, diantaranya untuk pemenuhan bahan pangan. Udang dan produk perikanan lainnya berpotensi menjadi sumber bahan pangan karena memiliki nilai protein tinggi, micronutrient penting untuk kesehatan manusia. Menurunnya hasil perikanan tangkap akibat overfishing dan pembatasan tangkapan lestari mengkondisikan sektor perikanan budidaya tumbuh agresif dengan pertumbuhan rata-rata 8,8% per tahun sejak tahun 1980. Produksi perikanan budidaya dari jenis crustacea (jenis udang-udangan) pada tahun 2010 terdiri dari 29,4% pada perairan tawar dan 70,6% dari perairan laut. Produksi komoditi spesies air laut didominasi oleh udang putih (*Litopenaeus vannamei*), 77% diantaranya diproduksi negara-negara Asia termasuk Indonesia. (FAO, 2012).

Perkembangan teknologi budidaya udang intensif disinyalir ikut memberi kontribusi terhadap kerusakan lingkungan, karena proses budidaya menghasilkan limbah yang bersumber dari pakan yang tidak termakan dan sisa metabolisme. Penggunaan lahan, air, konversi hutan mangrove, berkurangnya biodiversitas dan penggunaan energi fosil menjadi perhatian dalam kegiatan usaha budidaya udang (Diana, 2009). Untuk mengurangi dampak negatif limbah budidaya terhadap lingkungan, budidaya udang dapat dilakukan dengan sistem *zero exchange water* sehingga dapat mengurangi resiko pencemaran oleh limbah budidaya (Crab, *et al.* 2009). Pengendalian jumlah ammonia dapat dilakukan dengan penerapan teknologi bioflok (Avnimelech, 1999).

Bioflok terbentuk pada kondisi aerob sehingga konsentrasi oksigen terlarut harus selalu terpenuhi, dibutuhkan asupan energi listrik yang cukup untuk menggerakkan kincir air agar proses pencampuran air dapat mempertahankan suspensi flok mikroba dan mengkondisikan proses-proses aerobik dalam perairan tambak berjalan optimal. Ebeling *et al* (2006) menjelaskan bahwa

untuk setiap gram nitrogen amonium yang diubah menjadi biomassa mikroba heterotrofik membutuhkan oksigen terlarut sebesar 4,71 g, alkalinitas 3,57 g dan 15,17 g karbohidrat, dan akan menghasilkan 8,07 g biomassa mikroba serta 9,65 g karbon dioksida. Sedangkan Folke (1988) menjelaskan dalam budidaya intensif, pemberian pakan dan teknik pemeliharaan kualitas air dengan sistem tertutup dan pergantian air terbatas, membuka peluang penggunaan energi tinggi dan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang signifikan. Roy dan Knowles (1995) mengkritisi bahwa teknologi bioflok hanya mengukur konversi TAN (total ammonia nitrogen) menjadi nitrit, tetapi tidak memperhitungkan konsumsi O_2 yang dibutuhkan untuk proses aerobik oleh bakteri dalam proses mengubah nitrit menjadi nitrat.

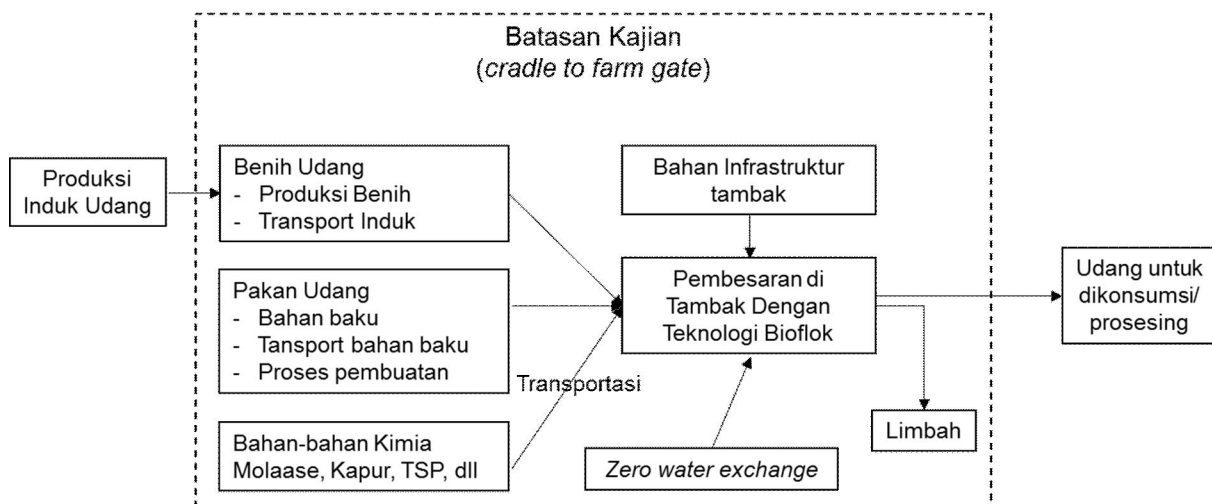
Teknik bioflok dapat menyebabkan masalah lingkungan lain yang berkaitan dengan akumulasi nitrat (Mook, *et al*, 2012). Bunting dan Pretty (2007) mengungkapkan dalam hal penggunaan energi, jejak karbon pada kegiatan budidaya udang meliputi penggunaan langsung, seperti konsumsi bahan bakar fosil dan konsumsi tidak langsung seperti energi listrik. Klaim ramah lingkungan teknologi bioflok masih terbatas pada berkurangnya dampak lingkungan perairan, seperti pencemaran bahan organik, penyebaran patogen dan efisiensi penggunaan lahan dan air, sementara input energi, kebutuhan bahan dan peralatan lainnya dalam penerapan teknologi bioflok juga berpotensi menyumbang dampak lingkungan.

Penilaian dampak lingkungan dengan metode *life cycle assesment* (LCA) dapat digunakan untuk mengidentifikasi komponen-komponen yang memberi kontribusi dampak terhadap kerusakan lingkungan. Hasil kajian LCA juga dapat digunakan untuk merumuskan langkah perbaikan dan mengurangi dampak lingkungan sebuah kegiatan produksi maupun jasa. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis aspek lingkungan penerapan teknologi bioflok pada kegiatan budidaya udang vaname dan menentukan strategi mengurangi dampak lingkungan dari penerapan teknologi tersebut.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei-Agustus 2013 di area tambak pembesaran udang vaname (*Litopenaus vannamei*) Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau Jepara. Pembesaran dilakukan pada 6 petak tambak berukuran 2000 m² (padat tebar 100 ekor/m²) dan 4 petak berukuran 500 m² (padat tebar 80 ekor/m²), dengan kedalaman kolam 1,2 m. Penebaran awal dengan bobot ± 0,01 gr/ekor, pakan menggunakan protein 36%. Penelitian ini merupakan penelitian diskriptif kuantitatif untuk mengkaji aspek lingkungan budidaya udang vaname yang

Tahapan penilaian dengan metode LCA dengan langkah berikut, pertama penentuan *goal and scope definition*, dalam penelitian ini membatasi hanya pada fase *cradle to farm gate* yaitu penilaian hanya dari ayunan sampai proses pembesaran di tambak. Satuan unit yang diukur yaitu produksi 1 ton udang vaname. Kedua *Life Cycle Inventory* mengikuti panduan ISO 14040 (ISO, 2006a), dengan melakukan inventarisasi input bahan dan energi. Ketiga *life cycle impact assessment* yaitu penilaian mengenai dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan berdasarkan data-data



Gambar 1. Batasan kajian *Life Cycle Assessment* dalam Penelitian ini

menerapkan teknologi bioflok. Kajian aspek lingkungan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk mengukur dampak *acidification* (SO₂ eq) *eutrophication* (PO₄ eq), *global warming potensial* (CO₂ eq) dan *cumulative energi use* (GJ eq) dari kegiatan budidaya tersebut dengan alat bantu software simapro v.7.1. Kerangka LCA telah diadaptasi dan diterapkan untuk mengevaluasi sektor pertanian, peternakan, perikanan, dan sistem produksi budidaya (Aubin et al., 2006; Ayer and Tyedmers, 2009; Papatryphon et al., 2004). Data primer diperoleh langsung dari lokasi penelitian melalui pengamatan, wawancara, pengukuran langsung maupun analisis laboratorium. Data sekunder didapatkan dari penelitian orang lain, instansi/ lembaga, publikasi, buku maupun sumber-sumber lain yang dapat dipercaya.

yang diperoleh pada tahap LCI. Pada tahap ini digunakan metode CML baseline 2002+ dan CEU. Sebagai komparasi akan digunakan metode IMPACT 2002+ dan ecoindicator`95. Alasan penggunaan metode tersebut adalah karena memenuhi semua kriteria dampak yang akan diuji. Keempat *life cycle interpretation* yaitu melakukan intepretasi untuk menilai hasil perhitungan berdasarkan ISO 14044 (ISO, 2006b).

Untuk melihat pengaruh dari asumsi-asumsi yang sangat penting dan berpengaruh terhadap hasil perhitungan LCA maka dilakukan analisis sensitivitas. Prinsipnya sederhana, dengan merubah asumsi dan menghitung ulang asumsi tersebut dalam LCA. Analisis sensitivitas dengan tingkat kepercayaan tertentu, digunakan untuk menemukan kemungkinan menguji performa lingkungan melalui skenario permodelan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Inventarisasi Bahan dan Energi

Inventarisasi bahan dan Energi pada tahap LCI bertujuan untuk menunjukkan pengaruh lingkungan per bagian siklus kegiatan budidaya udang dengan teknologi bioflok. Fase ini digunakan untuk mengidentifikasi area yang memiliki kemungkinan besar memberi kontribusi dampak negatif terhadap kualitas lingkungan, untuk kemudian dilakukan perbaikan melalui konservasi sumberdaya alam dan pengurangan emisi dari penggunaan energi. Hasil inventarisasi bahan dan energi pada 10 petak tambak untuk memproduksi 1 ton udang vaname terdapat pada Tabel 1. Perhitungan seluruh material dan energi pada proses budidaya dikonversi untuk produksi 1 ton udang vaname.

Penggunaan HDPE untuk melapisi 2000 m² dibutuhkan 2270 m² dengan bobot rata-rata 0,71 kg per meter (ketebalan 0,75 mm) dibutuhkan 1,618 kg. Namun usia pemakaian HDPE adalah 5 tahun, dengan perhitungan 1 tahun 3 siklus budidaya, maka setiap siklus hanya menggunakan 108 kg, karena rata-rata produksi $\pm 2,9$ ton maka input infrastruktur plastik HDPE untuk memproduksi 1 ton udang vaname adalah 39 kg. Begitu juga perhitungan dengan bahan-bahan yang lain, tergantung pada besaran dan umur pemakaian.

Tabel 1. Inventarisasi Bahan dan Energi serta Output Pembesaran Vaname

Jenis	Material	Nilai (Rerata \pm SD)	Satuan
Input Infrastruktur	HDPE	39 \pm 0,0025	kg
	Pipa PVC	4,43 \pm 2,18	kg
Input Proses	Air Laut	667.937 \pm 345	liter
	Benih	0,35 \pm 0,007	kg
	Pakan	1.438,05 \pm 125	kg
	H ₂ O ₂	35,74 \pm 1,06	kg
	Klorin	86,77 \pm 6,74	kg
	Listrik	2.930 \pm 127,7	kwh
	Molase	99,8 \pm 51,6	kg
	P ₂ O ₅	1,66 \pm 1,1	Kg
	ZA	7,79 \pm 3,35	Kg
	CaCO ₃	156,27 \pm 53,3	Kg
Output	Total N	14,89 \pm 10,14	Kg
	Total P	1,32 \pm 0,89	Kg

Selain data primer yang diperoleh dari obyek penelitian karena keterbatasan data lapangan, dukungan data sekunder untuk mendukung penilaian siklus hidup dalam penelitian ini diperoleh dari studi pustaka dan basis data yang tersedia dari software yang digunakan.

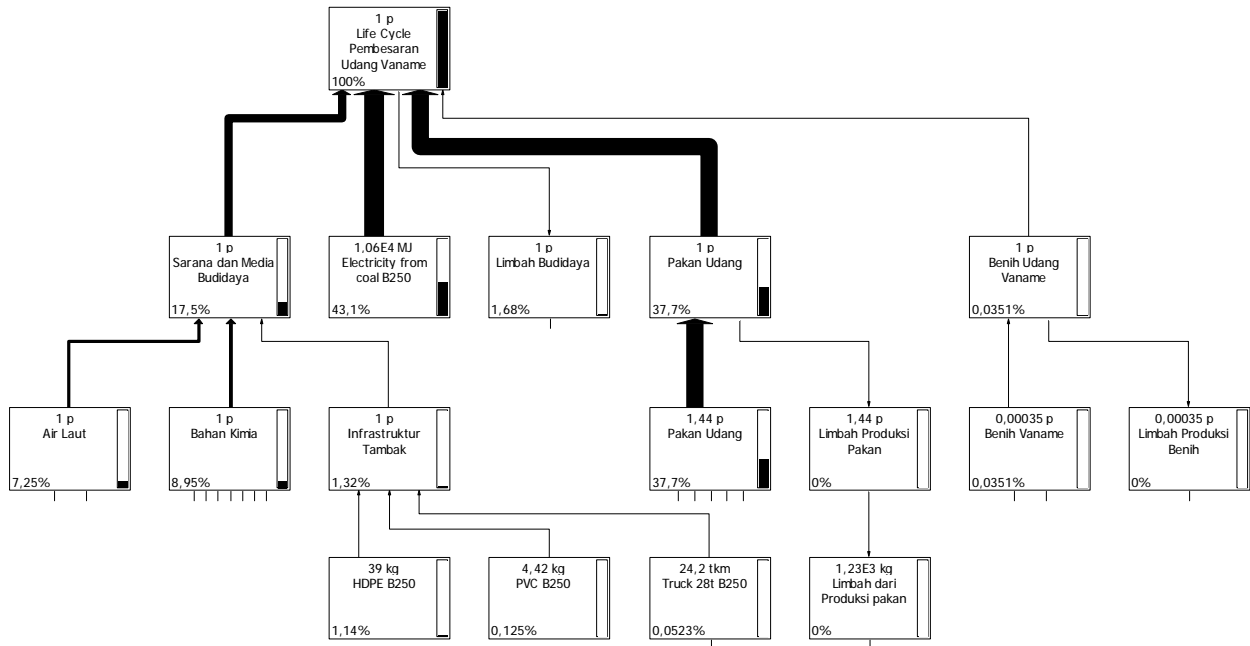
Hasil produksi selama ± 100 hari pemeliharaan menghasilkan nilai FCR 1,3 \pm 0,1, SR 86 - 92%, SGR 15,6% dan ukuran panen $\pm 16,4$ gr/ekor. Data kualitas air dengan nilai rata-rata alkalinitas 75 \pm 18 mg/l, pH 7,7 \pm 0,3, DO 5,8 \pm 0,3 mg/l, TAN 0,21 \pm 0,3 mg/l, NO₂ 1,25 \pm 2,28 mg/l, NO₃ 1,85 \pm 3,16 mg/l, PO₄ 0,84 \pm 0,59 mg/l, bahan organik 173,09 \pm 71,27 mg/l, salinitas 17,4 \pm 4,6 ppt, suhu 29,7 \pm 0,8 °C, dan kecerahan 29,7 \pm 9,9 cm. Data sarana produksi adalah data primer yang diperoleh selama proses penelitian sedangkan untuk data produksi pakan dan produksi benih udang vaname adalah data sekunder berdasarkan penelitian Cao (2012).

Data energi yang digunakan terdapat pada Tabel 2. Keseluruhan data digunakan untuk membangun diagram alur yang menggambarkan proses produksi sesuai dengan alur produksi, input bahan, energi dan penggunaan sumber daya selama pembesaran udang vaname. Transportasi bahan dihitung berdasarkan moda transportasi yang digunakan, kuantitas bahan dan jarak yang ditempuh, hasil akhir perhitungan menghasilkan satuan tkm (ton*km). Bahan pakan udang berupa tepung ikan sebagian diperoleh dengan impor dari Peru dengan jarak 18.000 km menggunakan kapal kargo, dan sebagian dari tepung ikan lokal yang berasal dari Muncar, Jawa Timur dengan jarak 1057 km menggunakan truk kapasitas 28 ton. Semua transportasi bahan dihitung sampai ke lokasi pabrik, sehingga bahan-bahan impor yang mendarat di pelabuhan masih ditambahkan jarak pelabuhan ke lokasi pabrik. Transportasi pakan udang dihitung berdasarkan jarak pabrik ke lokasi pembesaran udang di Jepara.

3.2. Penilaian Dampak Lingkungan

Setiap kegiatan produksi atau jasa dapat mengakibatkan dampak terhadap lingkungan, seperti halnya kegiatan pembesaran udang. Dampak lingkungan tersebut mempunyai skala dampak terhadap

software dengan kesamaan karakter yaitu listrik yang berasal dari pembangkit dengan bahan bakar batubara. Limbah pembesaran udang berupa total N dan P dimasukn dalam komponen terpisah berupa output limbah hasil budidaya.

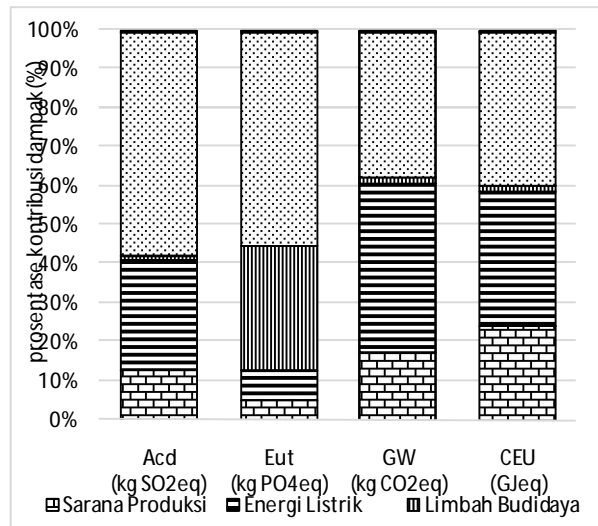


Gambar 2. Pohon Daur Hidup Dampak Lingkungan pada Kategori Pemanasan Global

ruang dan dalam skala waktu. Pengaruh *acidification* dapat memberi dampak dalam skala regional sedangkan *eutrophication* berdampak regional dan lokal, keduanya dapat memberi pengaruh dalam skala waktu tahunan. Global warming dampaknya pada kisaran puluhan bahkan ratusan tahun pada skala global, sedangkan *cumulative energy use* pada kisaran ratusan tahun pada area regional maupun lokal. Pada diagram pohon daur hidup terdapat 4 komponen yaitu sarana produksi, pakan udang, benih udang dan energi listrik serta sebagian berupa output limbah akhir budidaya (Gambar 2).

Komponen sarana produksi meliputi air laut, bahan kimia dan infrastruktur tambak. Penggunaan probiotik tidak dimasukkan dalam komponen ini, selain kuantitasnya relatif kecil, basis data untuk input material tersebut sulit didapatkan. Komponen pakan udang dan benih udang sebelum dimasukkan ke dalam rangkaian pohon daur hidup terlebih dahulu dibuat siklus hidup tersendiri untuk menyertakan output limbah proses tersebut. Komponen energi listrik menggunakan basis data energi listrik yang terdapat dalam basis data

Dari lima komponen yang menyusun pohon siklus, peranan komponen dalam tiap kategori dampak dapat ditunjukkan dengan menampilkan garis hubung tebal dan garis tipis sesuai kontribusinya pada daur siklus. Pada kategori dampak pemanasan global, penggunaan energi listrik mempunyai garis paling tebal, menyusul pakan udang dan



Gambar 3. Kontribusi Penggunaan Bahan dan Energi terhadap dampak lingkungan

Tabel 2. Hasil perhitungan LCIA 1 ton Udang Vaname dengan Teknologi Bioflok

Kategori Dampak	Acid (kg SO ₂ eq)	Eut (kg PO ₄ eq)	GW (kg CO ₂ eq)	CEU (GJeq)
Sarana Produksi	8,18	0,67	1.285,53	24,60
Energi Listrik	17,86	1,15	3.162,45	34,88
Limbah Budidaya	0,70	4,49	123,37	1,36
Pakan Udang	37,05	7,80	2.762,84	40,77
Benih Vanname	0,01	0,00	2,57	0,03
Total (±SD)	63,79±15,37	14,10±3,28	7.336,77±1.460	101,64±18,84

Sedangkan limbah budidaya dan benih udang vaname bergaris tipis, karena mempunyai peran yang kecil dapat diabaikan. Kontribusi terbesar dampak acidification (63,79 kg SO₂ eq) berasal dari penggunaan pakan udang sebesar 58%, diikuti energi listrik 28% dan sarana produksi sebesar 13% (Tabel 2 dan Gambar 3).

Dampak yang berasal dari pakan udang 72% diantaranya adalah berasal dari bahan pakan yang didominasi oleh penggunaan tepung ikan impor. Dalam produksinya pabrikan pakan udang di Indonesia masih mengadakan tepung ikan impor sebesar 75% terutama dari Peru, pakan ikan lokal digunakan sebagai campuran karena dinilai kualitasnya kurang baik. Dalam perhitungan ini persentase tepung ikan lokal hanya sebesar 25%. Pengaruh besar penggunaan tepung ikan impor dipengaruhi oleh besarnya energi yang digunakan untuk proses pengangkutan, serta proses penangkapan ikan yang menggunakan energi dari bahan bakar fosil.

Eutrofikasi (*eutrophication*) juga masih didominasi oleh penggunaan pakan udang sebesar 55% yang berasal dari proses pembuatan, diikuti oleh dampak dari limbah budidaya 32%. Sumbangan dampak eutrofikasi berasal dari penggunaan bahan pembuatan pakan dari bahan nabati sebesar 16,3%. Kontribusi terbesar dampak pemanasan global didominasi oleh penggunaan energi listrik 43%, diikuti pakan udang 38% dan sarana produksi sebesar 18%. Sedangkan kontribusi akumulasi energi juga masih didominasi oleh penggunaan pakan (40%) dan energi listrik langsung di lokasi pembesaran (34%).

listrik mendominasi pada setiap kategori dampak lingkungan yang ditimbulkan, kecuali eutrofikasi di mana limbah budidaya lebih tinggi. Sama halnya peran kedua komponen tersebut pada aspek ekonomi, pakan menyumbang 56% biaya produksi, dan listrik sebesar 17% pada biaya operasional budidaya.

Penilaian siklus hidup dapat menggunakan banyak metode sesuai kebutuhan dan tujuan dari penelitian yang dilakukan. Perbandingan dilakukan untuk mengevaluasi hasil pengujian karena perbedaan metode dapat membedakan hasil pengujian. Untuk memastikan dampak lingkungan dari kegiatan pembesaran intensif udang vaname dengan bioflok maka dilakukan perbandingan dengan menggunakan metode lainnya yaitu eco-indicator '95 dan IMPACT 2002+.

Hasil perhitungan menunjukkan dari ketiga metode memiliki kesamaan hasil dengan selisih yang tidak terlalu lebar, kecuali metode IMPACT 2002+ yang merepresentasikan dampak *acidification* lebih besar dibanding kedua metode lainnya, sedangkan dampak *eutrofikation* lebih rendah. Kategori dampak *global warming* dan *cumulative energi use*, ketiga metode hampir sama dan memiliki selisih yang kecil. Dengan demikian pengujian dengan metode CML2 Baseline 2000 dapat mewakili perhitungan dampak lingkungan dari kegiatan budidaya udang vaname berbasis teknologi bioflok.

3.3. Interpretasi Penilaian

Hasil perhitungan dengan LCIA telah menggambarkan peran semua komponen dalam proses budidaya udang vaname berbasis teknologi bioflok. Limbah proses

Tabel 3. Perbandingan Penilaian Dampak Lingkungan dengan Tiga Metode

Metode LCIA	Acid(kg SO ₂ eq)	Eut(kg PO ₄ eq)	GW(kg CO ₂ eq)	CEU(GJ eq)
CML 2 B-2000	63,79±15,37	14,10±3,28	7.336,70±1.460	101,64 ± 18,84
Eco-Indicator 95	66,34±16,50	14,07±3,27	7.058,22±1.403	101,99 ± 18,95
Impact 2002+	103,64±17,77	4,97±1,93	7.139,01±1.400	97,56 ± 18,01

pembesaran berupa TAN dan total fosfat memberi kontribusi sangat kecil, karena limbah hanya dibuang pada saat akhir pemeliharaan. Hal ini menjadi nilai positif dari penerapan teknologi tersebut. Namun teknologi bioflok belum mampu menurunkan pengaruh dampak lingkungan penggunaan pakan udang dan penggunaan energi listrik yang mendominasi dampak lingkungan kegiatan tersebut. Tepung ikan sebagai sumber protein utama, menjadi salah satu sisi negatif rantai siklus budidaya udang karena berasal dari hasil tangkapan ikan laut yang menyebabkan inefisiensi penggunaan sumber protein penting (kompetitor sumber pangan manusia) dan dapat mengakibatkan gangguan pada ekosistem laut (*biodeversity*). Di sisi lain pemenuhan kebutuhan tepung ikan 75% diimpor dengan jarak ribuan kilometer, terdapat penggunaan energi fosil dalam proses tersebut. Jika peran tepung ikan belum bisa tergantikan dengan sumberdaya alam lain, hal ini perlu menjadi perhatian bagi penentu kebijakan bahwa penggunaan tepung ikan impor harus dibatasi untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan.

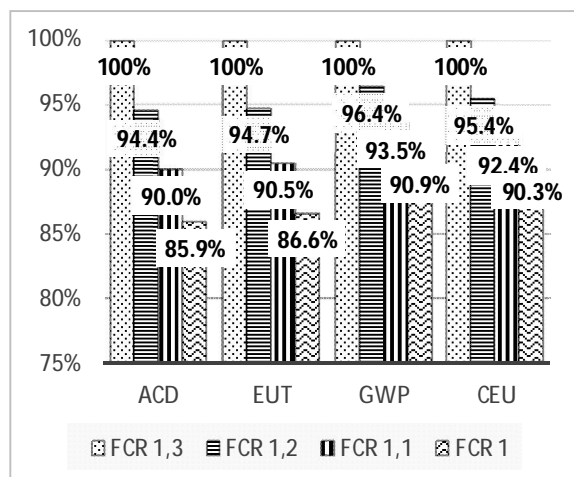
Kontribusi energi listrik pada kegiatan budidaya adalah kebutuhan untuk mengoperasikan kincir air. Peran kincir air sangat vital dan belum bisa tergantikan dalam mensuplai oksigen terlarut dan fungsi pengadukan pada budidaya udang dengan teknologi bioflok. Teknologi bioflok membutuhkan input energi (listrik) yang besar untuk proses pencampuran air dan aerasi dengan menggunakan kincir air agar suspensi flok mikroba dapat terus bertahan (Bosma dan Verdegem, 2011).

Selain konsumsi energi yang besar, sumber bahan baku pembangkit listrik di lokasi penelitian adalah pembangkit dengan bahan bakar batubara.

Perbedaan emisi, energi ekstraksi sumberdaya alam dan efisiensi energi yang dihasilkan akan berpengaruh pada besaran dampak lingkungan yang ditimbulkan. Pada kondisi siang hari suplai oksigen diperankan fitoplankton dengan proses fotosintesa, hal ini bisa menjadi alasan untuk mengurangi peran kincir air dalam mensuplai oksigen ke perairan. Penggunaan H₂O₂ dapat membantu suplai oksigen terlarut, dengan cara menahan konsentrasi DO walaupun bahan tersebut berpotensi mengurangi populasi plankton perairan. pembiayaan dan biaya tenaga kerja.

3.4. Analisis Sensitivitas

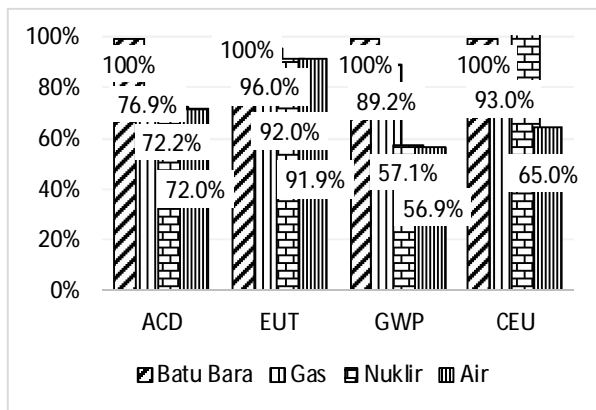
Analisis sensitivitas digunakan untuk mengevaluasi strategi yang mungkin dilakukan dan mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan budidaya udang melalui skenario modeling. Berdasarkan hasil LCIA dampak lingkungan terbesar berasal dari penggunaan pakan dan energi listrik. Skenario modeling ditujukan untuk mengurangi nilai FCR berdasarkan nilai FCR rata-rata pada penelitian ini yaitu 1,3 sebagai nilai dasar, kemudian diturunkan 0,1 dengan nilai terendah FCR 1. Skenario penggunaan energi listrik dengan menggantikan energi



Gambar 4. Analisis Sensitivitas Penurunan Nilai FCR

listrik bahan bakar batu bara pemakaian langsung di tambak, digantikan 100% dengan skenario energi listrik yang lebih ramah lingkungan yaitu bahan bakar gas, tenaga nuklir dan listrik tenaga air.

Pada lokasi penelitian, penggunaan gas untuk menggantikan bahan bakar batu bara pada pembangkit listrik setempat masih dapat dijadikan pilihan alternatif kebijakan, menimbang kenyataan di lapangan bahwa pendirian listrik tenaga nuklir belum sepenuhnya diterima masyarakat, sementara pembangkit listrik tenaga air dibatasi oleh ketersediaan sumber air. Skenario FCR dan sumber tenaga listrik dapat dikombinasikan untuk mendapatkan alternatif terbaik dalam mengurangi dampak lingkungan kegiatan budidaya udang.



Gambar 5. Analisis Sensitivitas Substitusi Sumber Energi Listrik

3.5. Strategi Pengelolaan dan Pengurangan Dampak Lingkungan

Teknologi bioflok disarankan dalam kegiatan budidaya sebagai sarana menuju budidaya berkelanjutan dan secara simultan mengarah pada penyelesaian isu lingkungan, sosial dan ekonomi bersama-sama dengan pertumbuhannya (Crab, *et al.*, 2012). Berdasarkan penilaian dampak lingkungan dengan LCA dan analisis sensitivitas, terdapat beberapa poin untuk memperbaiki manajemen budidaya udang dengan teknologi bioflok. Pertama terkait dengan manajemen pemberian pakan, sebagai sumber biaya terbesar dalam proses budidaya. Pemberian protein tinggi dengan kadar 36% sebaiknya dikurangi dan digantikan dengan pakan dengan protein yang lebih rendah, atau melakukan pencampuran sejalan dengan naiknya pertumbuhan bioflok, mengingat dari

beberapa studi hasil proksimat yang dilakukan nilai protein bioflok yang mencapai 43,0% (McIntosh, *et al.* 2000). Karena bioflok merupakan pakan alami, berkurangnya nilai protein pakan dapat disubstitusi dengan nilai protein bioflok. Dampak lanjutan dari pengurangan protein pakan adalah pengurangan input C organik, sehingga mengurangi biaya pembelian molase. Jika tidak hal lain yang menguntungkan adalah rasio C/N rasio akan lebih tinggi sehingga akan memicu pertumbuhan yang lebih baik bagi populasi bakteri.

Kedua, tentang penggunaan energi listrik, dalam prakteknya tidak mudah menggantikan sumber tenaga listrik di luar pembangkit dengan bahan bakar batu bara yang ada saat ini, dengan demikian yang bisa dilakukan adalah melakukan manajemen penggunaan listrik pada sektor yang mengkonsumsi energi listrik terbanyak, yaitu kincir air. Karena tujuan utama penggunaan kincir air adalah untuk mensuplai oksigen terlarut dalam air, maka pada saat konsentrasi oksigen tinggi, kincir air dapat dihentikan sebagian. Kincir air dapat dimatikan secara bergiliran dengan tetap menyalaikan sebagian agar tetap terjadi pengadukan. Konsentrasi oksigen dalam kondisi terkontrol dan sesuai untuk kehidupan dan perkembangan udang. Oksigen terlarut juga dapat disuplai dengan pemberian hidrogen peroksida, bisa menjadi alternatif pengurangan energi listrik

Ketiga berkaitan dengan kehidupan udang, padat tebar pada budidaya udang dengan teknologi bioflok tergolong tinggi, pada level tertentu kepadatan dapat menjadi sisi negatif untuk pertumbuhan udang, karena ada kompetisi ruang dan makanan. Daya dukung lingkungan tambak juga semakin menurun dengan bertambahnya kuantitas biomassa udang. Pertumbuhan udang relatif tidak seragam dengan variasi yang tinggi. Udang yang terlambat tumbuh pada masa awal pemeliharaan karena kompetisi, akan terus tertinggal dan mengakibatkan perbedaan ukuran pada akhir pemeliharaan. Penerapan *partial harvesting* atau panen bertahap disarankan oleh beberapa peneliti dan pelaku usaha, pada saat udang sudah mencapai ukuran jual.

Panen parsial bisa memberi banyak keuntungan baik secara ekonomi maupun lingkungan. Panen dapat dilakukan setelah

udang berusia lebih dari 2 bulan karena sudah masuk ukuran jual. Keuntungan pertama adalah berkurangnya kepadatan, ini berarti mengurangi kompetisi ruang dan pakan, potensi serangan penyakit akibat stres karena kepadatan tinggi dapat diminimalisir, dan pertumbuhan udang yang tersisa bisa lebih baik.

Berkurangnya biaya pakan karena berkurangnya populasi, akan mengurangi biaya pembelian pakan, akumulasi TAN dan bahan organik lainnya, sehingga akan mengurangi kebutuhan C organik dan kapur sebagai penyeimbang pH, dan tentu saja mengurangi biaya produksi. Berkurangnya kebutuhan oksigen terlarut, karena berkurangnya populasi sama artinya dengan mengurangi input listrik untuk mengoperasikan kincir air, sehingga mengurangi belanja energi listrik.

4. Kesimpulan dan Saran

Kegiatan budidaya udang vaname dengan teknologi bioflok mampu meminimalisir limbah budidaya, mengurangi penggunaan air dan efisiensi lahan dengan kepadatan tinggi. Hasil penilaian menunjukkan kegiatan tersebut menghasilkan *acidification* $63,79 \pm 15,37$ kg SO₂ eq ; *eutrophication* $14,38 \pm 3,28$ kg PO₄ eq ; *global warming potensial* $7.336,77 \pm 1.46$ kg CO₂ eq, dan *cumulative energy use sebesar* $101,64 \pm 18,84$ GJ eq. Kontribusi terbesar berasal dari penggunaan energi listrik dan pakan udang. Untuk mengurangi dampak lingkungan, disarankan untuk melakukan substitusi pakan berprotein lebih rendah (<36%) pada saat bioflok sudah berkembang dengan asumsi kekurangan nilai protein dipenuhi dari protein bioflok. Mengurangi konsumsi energi listrik dilakukan dengan mematikan kincir air secara bergilir pada saat kondisi oksigen terlarut tinggi (siang hari) dan melakukan *partial harvesting* setelah udang sudah masuk ukuran jual (> 2 bulan) agar tujuan mengurangi input pakan dan energi listrik dapat dilakukan lebih optimal.

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusbindiklatren Bappenas yang telah membantu pembiayaan penelitian ini dan kepada pihak BBPBAP Jepara atas ijin dan kesempatan untuk melakukan penelitian ini.

6. Referensi

- Aubin, J., Papatrypton, E., Van der Werf, H.M.G., Petit, J., Morvan, Y.M., 2006. *Characterisation of The Environmental Impact of A Turbot (Scophthalmus Maximus) Re-Circulating Production System Using Life Cycle Assesment*. Aquaculture 261, 1259 – 1268.
- Avnimelech, Yoram. 1999. *Carbon/Nitrogen Ratio as A Control Element In Aquaculture Systems*. Aquaculture 176, 227–235
- Ayer, N.W., Tyedmers, P.H., Pelletier, N.L., Sonesson, U., Scholz, A., 2007. *Co-Product Allocation In Life Cycle Assesment Of Sea Food Production System: Review Of Problems and Strategies* International Journal Life Cycle Assesment. 12, 480-487
- Bosma Roel H., Verdegem Marc C.J., 2011. *Sustainable Aquaculture In Ponds: Principles, Practices and Limits*. Livestock Science
- Bunting, Stuart W and Pretty, Jules. 2007 *Aquaculture Development and Global Carbon Budgets: Emissions, Sequestration and Management Options*. Centre for Environment and Society Occasional Paper 2007-1, University of Essex, Colchester UK
- Cao, Ling. 2012. *Farming Shrimp For The Future: A Sustainability Analysis Of Shrimp Farming In China. A Dissertation For The Degree Of Doctor Of Philosophy (Natural Resource and Environment)*. The University of Michigan
- Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., Avnimelech, Y., 2009. *Bio-Flocs Technology Application In Over-Wintering Of Tilapia*. Aquaculture Engineering 40, 105–112.
- Diana, James S. 2009. *Aquaculture Production and Biodiversity Conservation*. BioScience Vol.59 No. 1.
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. *Engineering Analysis Of The Stoichiometry Of Photoautotrophic, Autotrophic, and Heterotrophic Control Of Ammonia-Nitrogen In*

- Aquaculture Production Systems*. Aquaculture 257, 346–358.
- FAO. 2012. *The State Of World Fisheries and Aquaculture*. Rome-Italy
- ISO 14040, 2006a. *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. ISO, Geneva, p.32
- ISO 14044, 2006b. *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines*. ISO, Geneva, p.58
- McIntosh D., Samocha T.M., Jones E.R., Lawrence A.L., McKee D.A., Horowitz S. & Horowitz A. 2000. *The Effect Of A Bacterial Supplement On The High-Density Culturing Of Litopenaeus vanamei With Low-Protein Diet In Outdoor Tank System And No Water Exchange*. Aquaculture Engineering 21:215–227.
- Mook, W.T., Chakrabarti, M.H., Aroua, M.K., Khan, G.M.A., Ali, B.S., Islam, M.S., Abu Hassan, M.A., 2012. *Removal Of Total Ammonia Nitrogen (Tan), Nitrate And Total Organic Carbon (Toc) From Aquaculture Wastewater Using Electrochemical Technology: A Review*. Desalination 285, 1–13
- Papatryphon, E., Petit, J., Kaushik, S.J., Van der Werf, H.M.G., 2004. *Environmental Impact Assessment Of Salmonid Feeds Using Life Cycle Assessment*. Ambio 33(6), 316-323
- Population Reference Bureau. 2012. *World Population Data Sheet*. www.prb.org diakses 28 April 2013
- PRé Consultants, 2010. *Introduction to LCA with SimaPro 7*. www.pre.nl diakses 4 Mei 2013
- Roy, R. Knowles, R. 1995. *Differential Inhibition By Allylsulfide Of Nitrification And Methane Oxidation On Freshwater Sediment Application*. Environment Microbiology 61, 4278–4283