

EVALUASI EMERGY PENGEMBANGAN SISTEM BUDIDAYA UDANG SUPRA INTENSIF DI KAWASAN PESISIR MAMBORO, KOTA PALU, PROVINSI SULAWESI TENGAH

Emergy Evaluation of Supra Intensive Shrimp Culture System in Mamboro Coastal Areas, Palu City, Central Sulawesi Province

Vicky Rizky A. Katili^a, Luky Adrianto^b, Yonvitner^b

^aProgram Studi Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Lautan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 – vickykatili@gmail.com

^bDepartemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Abstract. Indonesia should pay greater attention on aquaculture due to a continuous decrease in capture fisheries production. Shrimp is an excellent fishery commodity consumption in the global market, but the availability of supply is not yet fulfilled. The supra intensive aquaculture system has believed as a solution method for shrimp production. This study was trying to analyze the energy and emergy flow inside the supra intensive aquaculture system. Further analysis was done with emergy indices calculation to predict the future application of supra intensive system. The result of study shows the energy required in shrimp harvested from supra intensive system (transformity) was $1,12E+10$ sej/g shrimps. This number represents it is needed more energy to produce per gram shrimps in supra intensive system compared to conventional shrimp pond in Ecuador and in Brazil. System more likely depend on purchased input which was indicated by very high EIR and ELR but in contrary relatively low EYR. Supra intensive aquaculture systems tend to be unsustainable in the long term by the very low value of ESI.

Keywords: Emergy, emergy indices, supra intensive shrimp culture, transformity.

(Diterima: 19-01-2017; Disetujui: 05-05-2017)

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Dinamika kebutuhan pangan global berkembang seiring dengan kesadaran masyarakat akan kesehatan yang beralih pada kebiasaan gaya hidup sehat dari konsumsi “red meat” (daging sapi, kambing dsb) menjadi “white meat” (ikan & seafood). Perubahan selera tersebut mempengaruhi jumlah konsumsi ikan per kapita penduduk dunia yang meningkat sebesar 9.37 persen dari tahun 2011 ke tahun 2012. Konsumsi ikan per kapita terdiri dari komoditas ikan laut, termasuk udang dan ikan air tawar yang dikonsumsi oleh penduduk dunia.

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan komoditas konsumsi perikanan unggulan di pasar global, namun ketersediaan suplainya belum tercukupi. Jurnal Agricultural Outlook (OECD-FAO) tahun 2013, menjabarkan bahwa permintaan pasar udang dunia belum tercukupi oleh suplai udang dunia yang turun akibat penyakit “Early Mortality Syndrome” (EMS). Negara konsumsi udang terbesar dunia adalah negara Amerika, Uni Eropa, dan Jepang. Jumlah total permintaan udang dunia di tahun 2013 sebesar 4,18 juta ton namun baru tercukupi oleh suplai udang dunia sebesar 3,08 juta ton. Hal tersebut menunjukkan adanya gap jumlah produksi dengan permintaan udang minus 1,10 juta ton. Selain potensi pasar udang dunia, jumlah permintaan udang di pasar domestik mening-

kat 7,3 persen dari 205.000 ton udang di tahun 2012 menjadi 220.000 ton udang di tahun 2013 (KKP, 2014).

Teknologi intensifikasi diharapkan mampu meningkatkan produksi udang secara kuantitas dan kualitas yang berkelanjutan. Menurut (SCI, 2015) teknologi supra intensif ini mampu menghasilkan produktivitas panen udang vaname sebesar 200 ton udang/ha dari teknologi sebelumnya hanya 70 ton udang/ha. Teknologi intensifikasi budidaya tambak udang supra intensif diciptakan oleh CV Dewi Windu pada tahun 2013 di Kabupaten Barru, provinsi Sulawesi Selatan.

Kemampuan produksi budidaya udang supra intensif yang tinggi tentu berdampak pada lingkungan pesisir. Kegiatan budidaya di wilayah pesisir dapat menjadi ancaman bagi ekosistem bila tidak dikelola secara benar. Budidaya udang biasanya dibangun dekat dengan garis pantai untuk mendapatkan akses air laut dan stok benih. Hal ini menimbulkan beberapa implikasi terhadap lingkungan antara lain kerusakan habitat kritis (mangrove), polusi perairan sekitar, eksploitasi berlebih terhadap larva dan juvenil, konflik lahan dan sumber air, serta bahaya introduksi spesies. Kemampuan perairan pesisir dalam mengencerkan limbah selain sangat ditentukan oleh jumlah beban limbah yang masuk ke lingkungan perairan pesisir, juga ditentukan oleh faktor-faktor yang mendukung kemampuan asimilasi tersebut, yaitu faktor hidro-oseanografi (arus, pasang surut, batimetri) serta vol-

ume air penerima limbah. Apabila limbah yang masuk atau dibuang ke lingkungan perairan pesisir melampaui kapasitas asimilasi atau kemampuan daya dukung lingkungan perairan maka akan berdampak terhadap berubahnya fungsi ekologis perairan pesisir (Damar, 2004).

Dalam memprediksi atau menganalisis manfaat ekonomi, biasanya metode yang digunakan mudah untuk menghitung jumlah modal dan produksi yang dihasilkan. Namun pada saat membandingkan manfaat ekonomi dan dampak dari kegiatan produksi terhadap lingkungan, kendala yang dihadapi dalam hal satuan, unit, proporsi dan sebagainya, oleh karena itu diperlukan analisis *emergy*. Analisis *emergy* menjelaskan bagaimana hirarki suatu sistem bisa bertahan dan dapat diatur dengan menggunakan energi secara efisien (Odum, 2000). Selain itu *emergy* juga adalah ekspresi dari seluruh energi yang digunakan dalam proses kerja yang menghasilkan produk dan jasa dalam satu satuan *emergy*. *Emergy* merupakan metode kuantitatif untuk mengevaluasi system, baik system ekologi, ekonomi, dan kemasyarakatan (Voorra dan Thrift, 2010). Analisis *emergy* adalah bentuk analisis energi yang mengukur nilai input sumber daya alam, barang dan jasa, dan ekonomi secara umum untuk mendapatkan kontribusi alam terhadap aktivitas perekonomian manusia.

Berdasarkan hal di atas, maka evaluasi *emergy* pengembangan sistem budidaya udang supra intensif di kawasan pesisir Mamboro adalah untuk melihat sudah sejauh mana variabel dalam aspek ekologi, barang, dan jasa memberikan dampak atau pengaruh terhadap kegiatan budidaya udang supra intensif pada saat ini maupun di masa datang dan sebaliknya sudah seberapa besar tekanan budidaya udang supra intensif terhadap sumberdaya pesisir.

1.2. Perumusan Masalah

Budidaya udang intensif didefinisikan sebagai sistem budidaya berbasis perlakuan, memiliki jumlah pengeluaran dan pemasukan nutrient yang mengarah pada eutrofikasi. Unsur nitrogen (ammonia, nitrit, dan nitrat) merupakan bahan kontaminan utama didalam air limbah perikanan budidaya. Cao *et al.* (2007) memperkirakan bahwa 9,5 Kg P dan 78 Kg N per ton ikan dilepaskan kedalam kolom air per tahun ketika koefisien konversi pakan adalah 1,5 dan kandungan dalam pakan adalah 0,9% P dan 7,2% N. Diperkirakan sekitar 72% N dan 70% P dalam pakan tidak dikonsumsi oleh ikan. Limbah perikanan budidaya yang terjadi pada tahun 1999 dan 2000 mengakibatkan kerugian ekonomi sekitar 0,132 miliar dollar (Cao *et al.*, 2007).

Analisis evaluasi *emergy* diperlukan untuk mengkaji seberapa besar jumlah *emergy* yang digunakan untuk memproses sistem budidaya udang

supra intensif. *Emergy* yang masuk ke sistem yang terdiri dari renewable energy input (R), non renewable energy input (N), dan input Sumberdaya yang dibeli (F) bisa dihitung dan bagaimana efisiensi *emergy* yang masuk ke sistem tersebut.

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka beberapa pertanyaan yang timbul dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana aliran *emergy* dalam sistem (input, proses, output) budidaya udang supra intensif.
2. Bagaimana efisiensi *emergy* yang masuk ke dalam sistem dan keberlanjutan sistem budidaya udang supra intensif.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi dan menguraikan efisiensi aliran *emergy* dalam kerangka pengembangan kawasan budidaya supra intensif.
2. Melakukan analisis keberlanjutan budidaya udang supra intensif berdasarkan analisis *emergy*.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

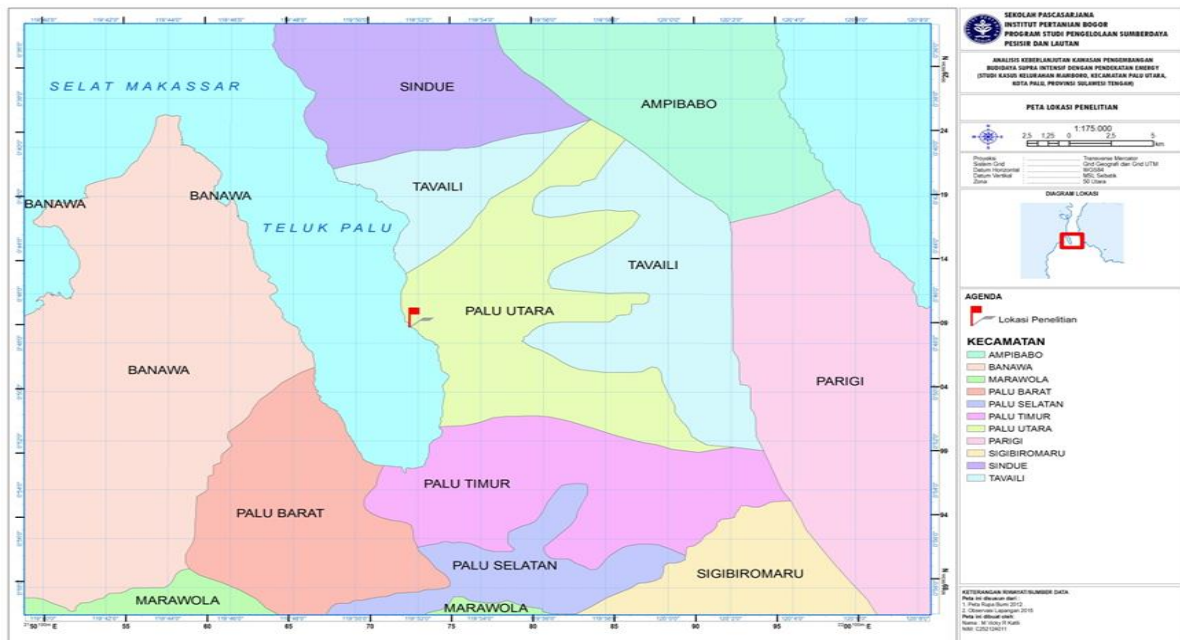
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2016 - Juli 2016 bertempat di Balai Benih Ikan (BBIP) Kampal, Palu Utara (Gambar 1).

Data yang diambil dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dengan melakukan pengamatan langsung dan wawancara dengan narasumber. Pengisian kuesioner wawancara mendalam terhadap responden, dipilih secara purposive sampling dengan jumlah pekerja tambak sebanyak 5 orang. Data sekunder didapatkan dari beberapa lembaga dan instansi terkait.

2.2. Prosedur Analisis Data

a. Analisis Evaluasi *Emergy*

Tahapan umum yang digunakan untuk melakukan analisis sintesis *emergy* dimulai dari mendefinisikan batas sistem dengan menggunakan diagram sistem energi untuk menggambarkan fitur sistem, input dan output. Langkah berikutnya membuat sebuah tabel yang merangkum nilai-nilai *emergy* dari stok sistem dan aliran. Stok dan aliran dikonversi dari unit energi atau massa yang setara dengan menggunakan koefisien *emergy transformity*. Keberlanjutan sistem ini kemudian dapat dievaluasi dengan menggunakan sejumlah indikator *emergy* (Voorra dan Thrift, 2010).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.3. Jenis dan Sumber Data

Tabel 1. Jenis Data yang diambil pada Penelitian

No	Jenis Data	Metode	Sumber Data
A	Data Primer		
1	Input dan Teknis Budidaya	Kuisisioner, wawancara, pengambilan sampel, dan observasi lapang.	Petambak dan Lokasi penelitian
	a. Input pakan		
	b. Debit air		
	c. Probiotik		
	d. Musim tebar		
	e. Persiapan tambak		
	f. Persiapan air dan pengisian air tambak		
	g. Kualitas benih dan <i>screening</i>		
	h. Pengelolaan air		
	i. Spesifikasi Peralatan		
	j. Kebutuhan energi listrik		
k. Kebutuhan bahan bakar			
2	Input Ekonomi	Kuisisioner, wawancara, dan observasi lapang.	Petambak dan Lokasi Penelitian
	a. Sarana Produksi		
	b. Biaya Produksi		
	c. Hasil Produksi		
B	Data Sekunder		
1	Kebijakan, infrastruktur dan dukungan pemerintah	Studi Literatur	Intansi Terkait dan Penelitian Sebelumnya
2	Produksi Perikanan		
3	Insolasi Matahari, Curah Hujan, Kecepatan Angin		

b. Tabel Evaluasi Emery

Tabel evaluasi emery adalah evaluasi dari sebuah proses yang mewakili aliran energi per satuan waktu (biasanya per tahun). Keterangan dalam evaluasi menggunakan tabel mengikuti aturan format yang dikembangkan oleh odum (2000) dan Brown dan Ugiati (2004) lihat tabel 2, terdiri dari:

- a). Kolom 1 merupakan item nomor baris yang menunjukkan catatan yang ditemukan atau merupakan data mentah perhitungan yang akan ditampilkan.

- b). Kolom 2 adalah nama dari input yang akan ditampilkan yang juga ditunjukkan pada diagram analisis.
- c). Kolom 3 adalah data mentah dalam joule, gram, dolar atau unit lainnya.
- d). Kolom 4 adalah tampilan satuan untuk setiap item (g, J, \$, dll).
- e). Kolom 5 adalah emery per unit yang digunakan untuk faktor konversi perhitungan.

- f). Kolom 6 adalah emergy surya dari aliran tertentu, dihitung sebagai masukkan mentah kali transformity (kolom 3 kali kolom 5).
- g). Kolom 7 adalah nilai emdollar (emergy uang) dari barang yang diberikan untuk suatu tahun tertentu.

Hal ini diperoleh dengan membagi emergy di kolom 6 dengan rasio emergy untuk uang (EMR) untuk

negara dan tahun dipilih dalam evaluasi (unit sej/\$). EMR dihitung secara independen. Nilai-nilai yang dihasilkan dalam kolom ini menyatakan jumlah aktivitas ekonomi yang dapat didukung oleh aliran emergy yang diberikan atau penyimpanan.

1	2	3	4	5	6	7
Catatan	Item	Data	Unit	Emergy/ unit (sej/unit)	Solar emergy (E+15 sej/year)	Em\$ Value (1998 em\$/year)
1.	<i>First item</i>	xx.x	Sej/year	xxx.x	xxx.x	xxx.x
2	<i>Second item</i>	xx.x	g/year	xxx.x	xxx.x	xxx.x
..						
..						
n.						
O.	<i>Output</i>	xx.x	Sej or g/year	xxx.x	$= \sum_n^1 Em$	xxx.x

Tabel 2. Contoh Tabel Evaluasi Emergy

c. *Indeks Emergy*

Data aliran energi setelah ditabulasi dan disesuaikan selanjutnya ditransformasi. Sejumlah emergy berbasis rasio dan indeks dihitung. Hasil agregat dari indikator-indikator yang didapat akan sangat membantu dalam interpretasi dalam analisis. Indikator utama yang digunakan dalam analisis ini didefinisikan sebagai berikut (Brown dan Ulgiati, 1997; Odum, 1996):

- a. Perbandingan hasil emergy (EYR) adalah rasio dari emergy output (Y) dibagi dengan emergi input (F). Perbandingan hasil emergy dari setiap output yang dihasilkan adalah ukuran dari berapa banyak proses yang akan memberikan kontribusi terhadap perekonomian.

$$EYR=Y/F \dots\dots\dots (1)$$

- b. Rasio beban lingkungan (ELR) adalah rasio emergy tidak terbarukan (N) dan emergy impor (F) untuk emergy terbarukan (R). Ini merupakan indikator dari jumlah tekanan dari proses produksi pada lingkungan setempat.

$$ELR= (N+F)/R\dots\dots\dots (2)$$

- c. EIR (Emergy Investmen Ratio), EIR merupakan rasio sumber daya yang dibeli untuk input lokal terbarukan dan tak terbarukan. Rasio ini akan cenderung ekonomis jika rasio kurang atau sama

dengan satu yang berlaku di wilayah tersebut (Odum, 1996). Semakin sedikit rasio, semakin sedikit biaya ekonomi, sehingga proses dengan rasio yang lebih rendah cenderung untuk bersaing, makmur di pasar (Lima *et al.*, 2012).

$$EIR=F/(R+N) \dots\dots\dots (3)$$

- d. Indeks keberlanjutan emergy (ESI) merupakan ukuran hasil dan keberlanjutan yang mengasumsikan bahwa fungsi tujuan untuk keberlanjutan adalah untuk mendapatkan rasio hasil tertinggi pada beban lingkungan terendah.

$$ESI=EYR/ELR\dots\dots\dots (4)$$

- e. Renewability ratio (%R) merupakan hubungan antara input dari sumberdaya terbarukan terhadap jumlah keseluruhan total emergy.

$$\%R=R/(R+NR+F)\times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

%R digunakan untuk penilaian kelestarian lingkungan, %R menunjukkan persentase emergy terbarukan yang digunakan oleh sistem. Sistem dengan persentase yang tinggi memiliki kemampuan keberlanjutan yang tinggi dari sistem yang menggunakan sebagian besar emergy non terbarukan.

3. Hasil dan Pembahasan

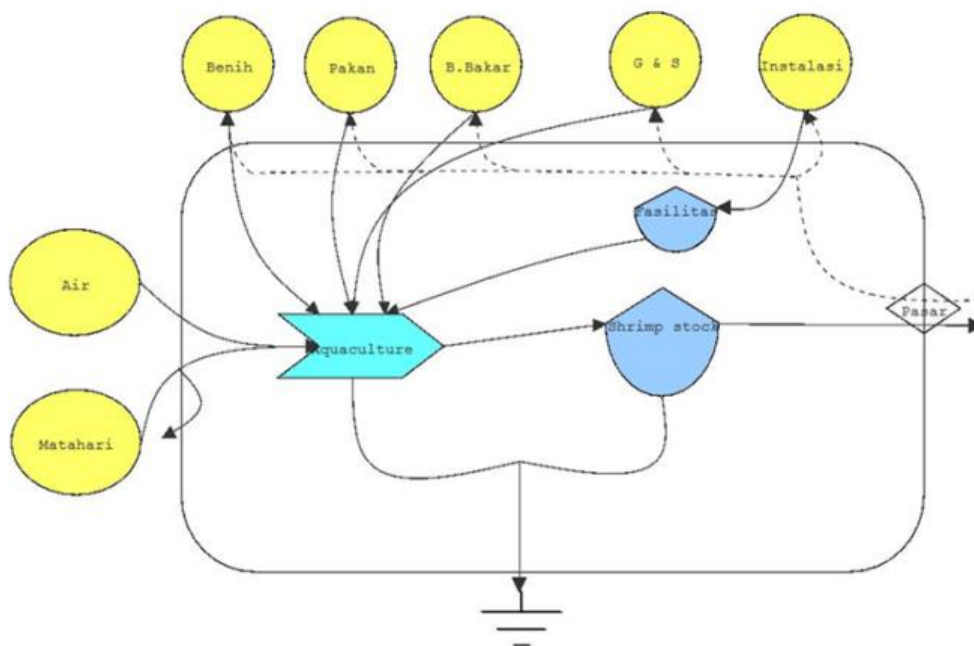
3.1. Sistem Budidaya Udang Supra Intensif

Sistem budidaya supra intensif terdiri dari subsistem produksi, subsistem sarana dan prasarana, subsistem teknologi, dan subsistem kesehatan lingkungan. Subsistem produksi terdiri dari input benur, pakan, probiotik, kaporit dan thiosulfat, dan pekerja borongan. Subsistem teknologi terdiri dari teknologi kincir dan blower, alat ukur kualitas air, pompa submersible, dan automatic feeder. Kesehatan lingkungan terdiri dari desain konstruksi central drain tambak.

3.2. Analisis Evaluasi Emery

3.2.1 Agregasi Sistem

Agregasi sitem berkelanjutan menggambarkan proses aliran energi yang saling berinteraksi pada sistem. Agregasi sistem juga merupakan pengelompokan berbagai sumber yang masuk ke sistem, baik itu sumberdaya terbarukan, sumberdaya yang tidak terbarukan, dan sumberdaya yang dibeli (Gambar 2). Pada agregasi sistem, dibutuhkan transformity untuk mengubah semua energi yang berbeda dari energi atau massa untuk kualitas energi acuan. Faktor transformity ini digunakan sebagai nilai kesetaraan (Londono *et al.*, 2014).



Gambar 2. Model aliran emery pada produksi budidaya supra intensif.

Dalam analisis evaluasi emery kontribusi dari alam terdiri dari renewable resources (R) dan non renewable resources (N). *Renewable resources* dari alam adalah sumberdaya yang didapatkan langsung dari alam seperti hujan, matahari, angin, sedangkan *non renewable resources* dari alam adalah sumberdaya yang didapatkan dari alam tetapi tidak secara gratis seperti tanah, biodiversity, dan input air. Input yang dibayar dalam sistem terdiri dari barang dan jasa. Kategori barang misalnya mineral, bahan kimia, bahan bakar, peralatan, dan lain lain. Sedangkan kategori jasa terdiri dari tenaga kerja, pajak, asuransi, dan lain lain. Total emery adalah penjumlahan total energi input yang masuk ke system (Odum, 1996).

3.2.2 Tabel Evaluasi Emery

Analisis evaluasi emery produksi udang dalam penelitian ini menggunakan data per siklus udang tahun 2015, baik untuk sumberdaya terbarukan, sumberdaya yang dibeli, barang dan jasa, dan aliran energi produksi yang sudah diidentifikasi dan ditampilkan

pada tabel. Sebagai contoh sumberdaya yang dibeli adalah benih, pakan, bahan bakar, dan sumberdaya terbarukan adalah air dan matahari. Nilai aliran dari setiap energi yang ada dihitung berdasarkan satuan baku (joule, sej/J, sej/yr). Nilai dari aliran ini dikalikan dengan nilai dari koefisien transformasi untuk menghitung jumlah emjoule surya dari masing-masing aliran energi (Brown dan Ulgiati, 2004).

Input sumberdaya terbarukan (R) dalam sistem terdiri dari matahari dan hujan. Pada tabel 3 menunjukkan bahwa data untuk nilai energi matahari adalah $8,40E+11$ J, nilai transformity sebesar 1 sej/unit (Odum, 2000; Brown dan Ulgiati, 2004) dengan nilai emery yang dihasilkan sebesar $8,40E+11$ sej/siklus. Jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh Lima, J. et al., (2012) serta Odum dan Arding (1991) nilai energi matahari yang dihasilkan sangat kecil. Berdasarkan penelitian pada tambak tradisional oleh Odum dan Arding (1991) nilai energi matahari yang dihasilkan sebesar $1,97E+18$ J. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Lima, J. et al. (2012) energi matahari pada tambak tradisional sebesar $2,76E+11$ J dan energi matahari pada tambak semi intensif sebesar

2,76 E+11 J. Perbedaan hasil nilai energi matahari ini disebabkan karena luasan area tambak yang menerima radiasi penyinaran matahari, luasan area tambak pada penelitian ini adalah 0,04 ha sedangkan tambak tradisional pada penelitian Odum dan Arding (1991) adalah 53.000 ha. Pada penelitian Lima, J. *et al.* (2012) luasan area tambak 1 ha, akan tetapi besaran nilai insolasi matahari hanya 9,22E+05 Wh/ha/siklus sehingga jumlah energi matahari tidak terlalu berbeda dengan tambak supra intensif.

Berdasarkan tabel 3 nilai energi hujan sebesar 1,25E+08 J, nilai transformity sebesar 3.10+04 sej/unit (Odum *et al.*, 2000), dengan nilai emergy yang dihasilkan sebesar 3,86E+12 sej/siklus. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Lima J. *et al.*, (2012) pada tambak tradisional dan semi intensif nilai energi

hujan yang dihasilkan adalah 3,16E+10 J sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Odum dan Arding (1991) nilai yang diperoleh adalah 2,65E+15 J. Perbedaan hasil nilai energi hujan ini disebabkan luasan areal tambak dan curah hujan pada masing-masing daerah tambak tersebut. Nilai energi hujan pada tambak tradisional dan semi intensif di Brazil lebih besar karena curah hujan di Brazil lebih tinggi dari pada di Sulawesi Tengah yaitu 632,88 mm/siklus (Lima, J. *et al.*, 2012).

Tabel 3. Tabel Evaluasi Emergy Budidaya Udang Supra Intensif

No	Item	Data/Unit (J, g/siklus)	Transformity (sej/unit)	Solar Emergy (sej/siklus)	References	
Renewable Resources-R						
1	Matahari	8,40E+11	J	1	8,40E+11	Defenisi
2	Hujan	1,25E+08	J	3.10E+04	3,86E+12	(Odum <i>et al.</i> , 2000)
				4,70E+12		
Non Renewable Resources-N						
2	Input air	3,42E+10	J	8,10E+04	2,77E+15	(Brown and Ulgiati, 2004)
				2,77E+15		
Purchase-F						
3	Benur	9,35E+02	J	2,20E+07	2,06E+10	(Brown and Ulgiati, 2004)
4	Pakan	1,13E+07	g	2,05E+09	2,33E+16	(Cavalett <i>et al.</i> , 2006)
5	Listrik	1,39E+11	J	2,69E+05	3,73E+16	(Odum <i>et al.</i> , 2000)
6	Bahan bakar	2,69E+10	J	5,30E+04	1,43E+15	(Brown and Bardi, 2001)
7	Pupuk	5,33E+04	g	2,80E+09	1,49E+14	(Odum <i>et al.</i> , 2000); (Ortega, 2006)
8	Obat	1,13E+04	g	2,49E+10	2,82E+14	(Brown and Ulgiati, 2004)
9	Biaya penyusutan	7,22E+02	\$	3,70E+12	2,67E+15	(Coelho <i>et al.</i> , 2003)
10	Biaya perbaikan	2,25E+02	\$	3,70E+12	8,31E+14	(Coelho <i>et al.</i> , 2003)
11	Tenaga kerja	1,13E+09	J	7,56E+06	8,54E+15	(Odum <i>et al.</i> , 2000)
				7,45E+16		
Cycle Yield (O)						
11	Udang	1,55E+11	J			
Energy Yield		1,55E+11	J	4,98E+05	7,73E+16	Hasil penelitian

Input sumberdaya yang dibeli (F) sangat berpengaruh terhadap produksi budidaya udang supra intensif di BBIP Kampal. Untuk dapat melaksanakan kegiatan produksi udang vaname dibutuhkan dukungan tenaga kerja, tersediannya bahan bakar minyak (BBM), listrik, benur, pakan, pupuk, probiotik, dan biaya-biaya perbaikan serta penyusutan.

Nilai energi untuk masing-masing input sumberdaya yang dibeli dapat dilihat pada tabel 3. Nilai energi tenaga kerja dalam kegiatan budidaya udang supra intensif adalah sebesar 1,13E+09 J dengan nilai transformity sebesar 7,56E+06 sej/J (Odum *et al.*, 2000). Hasil yang diperoleh berbeda dengan tambak

tradisional dan semiintensif di Brazil dimana, jumlah energi yang dihasilkan adalah 5,76E+08 J/ha/hari. Perbedaan ini terjadi karena jumlah orang dan lama bekerja pada tambak supra intensif lebih besar.

Tabel 3 menunjukkan nilai energi benur 9,35E+02 J, nilai transformity sebesar 2,20E+07 sej/J, sehingga didapatkan nilai emergy sebesar 2,06E+10 sej/siklus. Jika dibandingkan dengan tambak tradisional dan semi intensif di Brazil terdapat perbedaan yang signifikan, dimana hasil energi benur tambak tradisional sebesar 5,62E+02 J (Lima J. *et al.*, 2012). Perbedaan energi ini terjadi karena perbedaan jumlah kepadatan benur per-meter kuadrat, dimana pada tambak tradisional

kepadatannya adalah 30 benur/m²/siklus sedangkan untuk tambak supra intensif kepadatannya adalah 1.250 benur/m²/siklus.

Input sumberdaya pakan juga sangat berpengaruh terhadap produksi udang vaname. Pakan yang digunakan berbentuk crumble atau pellet dan disesuaikan dengan ukuran bukaan mulut benur. Kebutuhan jumlah pakan yang digunakan selama satu siklus adalah 11.348 kg, sehingga jika dikalikan dengan transformity didapatkan nilai emergy sebesar 2,33E+16 sej/g. Nilai emergy ini jika dibandingkan dengan nilai emergy pakan pada tambak tradisional dan semi intensif di Brazil sangat besar, karena jumlah kebutuhan pakan pada tambak semi intensif di Brazil adalah 2,026 kg per siklus. Sedangkan untuk tambak semi intensif di Ekuador kebutuhan pakan per siklus adalah 2,700 kg. Nilai emergy pakan termasuk input emergy yang terbesar yang masuk ke dalam system guna mendukung proses produksi udang vaname yaitu sebesar 31,23 % (tabel 3), hal ini sesuai dengan Tlustý dan Lagueux (2009) bahwa pakan adalah komponen energi yang sangat signifikan dari produksi perikanan budidaya udang vaname dan perlu solusi untuk mengganti sebaian atau secara keseluruhan untuk menjamin perikanan budidaya yang bertanggungjawab dan berkelanjutan.

Sumberdaya energi listrik merupakan input terbesar dalam proses kegiatan budidaya udang supra intensif. Besaran energi listrik yang masuk ke sistem yaitu 50,10 % (tabel 3). Kebutuhan energi listrik 38.533 kwh dalam satu siklus pemakaian. Pada tambak semi intensif dan tradisional di Brazil besar nilai emergy listrik masing-masing adalah 5,81E+14 sej/J untuk tambak semi intensif dan 2,88E+14 sej/J untuk tambak tradisional. Nilai emergy listrik pada tambak supra intensif lebih besar dari tambak semi intensif dan tradisional karena sarana dan prasarana yang menggunakan energi listrik sangat banyak diantaranya, aerator, pompa submersible, pakan otomatis, kincir, dan blower. Pada tambak semi intensif hanya menggunakan pompa dan aerator.

Input sumberdaya bahan bakar dianggap sangat berpengaruh terhadap kegiatan produksi budidaya supra intensif. Pada tabel 3 nilai energi bahan bakar 2,69E+10 J, nilai transformity sebesar 5,30E+04 sej/J, sehingga nilai emergy yang didapatkan adalah 1,43E+15 sej/siklus. Total keseluruhan bahan bakar disel yang dibutuhkan dalam satu siklus adalah 709 liter. Berbeda dengan tambak semi intensif di Brazil dimana nilai energi bahan bakar adalah 4,45E+09 J dengan nilai emergy sebesar 4,94E+14 sej/siklus (Lima J. *et al.*, 2012). Perbedaan nilai ini disebabkan jumlah kebutuhan bahan bakar yang diperlukan berbeda dalam satu siklus, dimana pada tambak semi intensif diperlukan 93,24 liter bahan bakar dalam satu siklus.

Input sumberdaya pupuk sangat mendukung pertumbuhan udang vaname, karena pupuk berfungsi sebagai pemicu pertumbuhan dan menstabilkan fitoplankton. Total kebutuhan pupuk dalam satu siklus adalah 53,300 gram, dimana terdiri dari fitogro dan

mingro. Pada tambak semi intensif di Brazil pupuk yang digunakan sebanyak 147,86 gram dengan komposisi terdiri dari kalsium nitrat, amonium fosfat, dan tambahan sedikit dedak padi. Perbedaan banyaknya total penggunaan ini menyebabkan perbedaan nilai emergy yang dihasilkan dimana nilai emergy tambak supra intensif sangat tinggi jika dibandingkan dengan tambak semi intensif yang hanya 4,14E+14 sej/siklus (Lima, J. *et al.*, 2012). Untuk tambak semi intensif di Ekuador penggunaan pupuk sangat besar yaitu sebanyak 1,14E+09 gram sehingga nilai emergy yang dihasilkan adalah 0,048E+20 sej/siklus (Odum dan Arding, 1991). Hal ini terjadi karena luasan tambak semi intensif di Ekuador yaitu 53.000 hektar, jika dibandingkan dengan tambak semi intensif di Brazil yang hanya satu hektar dan tambak supra intensif di Sulawesi Tengah yang hanya 0,04 hektar.

Input sumberdaya obat-obatan adalah penggunaan bahan kimia atau herbisida untuk sterilisasi tambak dari organisme carrier serta merupakan langkah-langkah antisipasi menghindari kontaminasi atau dampak dari luar sistem. Penggunaan bahan kimia pada tambak supra intensif terdiri dari kaporit, thiosulfat, bactogro dan soilgro, dengan total penggunaan sebanyak 11,320 gram per siklus. Pada tambak semi intensif di Brazil total penggunaan herbisida dan obat-obatan adalah 1.585 gram per siklus dengan nilai emergy sebesar 3,95E+13 sej/siklus (Lima J. *et al.*, 2012).

Biaya perbaikan dan biaya penyusutan adalah biaya-biaya yang diperlukan selama satu siklus produksi. Nilai emergy dari kedua biaya masing-masing adalah biaya penyusutan sebesar 2,67E+15 sej/siklus dan biaya perbaikan sebesar 8,31E+14 sej/siklus. Pada tambak semi intensif biaya penyusutan sebesar 77,12 US\$/siklus dan biaya perbaikan sebesar 17,345 US\$/siklus, sehingga besaran nilai emergy masing-masing adalah 2,85E+14 sej/siklus dan 6,42E+13/siklus. Nilai biaya pada tambak supra intensif lebih besar karena penggunaan sarana dan prasarana pada tambak supra intensif lebih banyak jika dibandingkan dengan tambak semi intensif. Penggunaan pompa submersible, blower, kincir, genset, dan alat lainnya memerlukan perbaikan seperti pelumas untuk blower dan dinamo kincir agar alat-alat tersebut tetap sehat dan produktif.

3.2.3. Perbandingan Indeks Emergy Budidaya Perikanan

Transformity didefinisikan sebagai kuantitas energi surya yang diperlukan untuk menghasilkan satuan energi atau massa dengan kualitas yang lebih baik. Emergy diperlukan untuk menghasilkan unit produk, sehingga berbagai bentuk energi atau massa diubah dalam bentuk solar emergy joule (sej). Faktor transformity digunakan sebagai nilai kesetaraan dan menunjukkan ditingkat mana suatu komponen dalam kualitas hirarki emergy. Faktor ini adalah kuantitas yang melekat pada setiap jenis energi dan nilai material. Hal ini menunjukkan jumlah energi surya yang telah dihabiskan untuk memperoleh satu unit

energi dari produk. Sehingga dapat disimpulkan transformity adalah nilai kebalikan dari efisiensi energi dari suatu sistem, jika transformity rendah menunjukkan bahwa kurangnya emergy yang diperlukan untuk menghasilkan produk atau jasa (Londono *et al.*, 2014).

Transformity pada penelitian adalah $4,98E+05$ sej/J dimana jumlah emergy yang membentuk produk sebesar $7,73E+16$ sej/siklus dan jumlah energi dari hasil yang diperoleh adalah $1,55E+11$ J (Tabel 3). Nilai transformity ini jika dibandingkan dengan transformity budidaya udang tradisional dan semi intensif lebih rendah. Hal ini menunjukkan besarnya total emergy yang masuk ke sistem bisa diimbangi dengan jumlah energi output (O) yang dihasilkan. Nilai transformity yang dihasilkan hampir sama dengan transformity dari budidaya tradisional dan budidaya intensif ikan karp di China. Hal ini disebabkan hasil output (O) yang dihasilkan pada budidaya tradisional sangat besar yaitu 25.000 kg dengan luas lahan budidaya empat hektar, sedangkan output (O) dari budidaya intensif adalah 6.650 kg dengan luas lahan budidaya 0,04 ha (Zhang *et al.*, 2011).

Perbandingan persen rasio keberlanjutan (%R) diantara ketiga sistem budidaya udang (tradisional, semi intensif, dan supra intensif) adalah sistem budidaya supra intensif memiliki persen keberlanjutan terendah yaitu 0,01 % (Tabel 4). Hal ini menunjukkan sistem budidaya supra intensif hanya menggunakan 0,01% sumberdaya emergy terbarukan, yang artinya sistem ini sangat tidak tergantung pada sumber daya alam yang gratis. Dalam jangka waktu yang lama dengan adanya fluktuasi harga, ketersediaan bahan bakar fosil, dan produk-produk turunan seperti pakan dan herbisida, maka sistem produksi dengan persentase emergy terbarukan yang tinggi cenderung lebih berkelanjutan dan lestari (sistem ini lebih berhasil dalam persaingan ekonomi ketika sumberdaya non terbarukan terbatas) dibandingkan dengan sistem yang menggunakan sumberdaya tak terbarukan.

Perbandingan nilai EYR terlihat pada tabel 4, dimana sistem budidaya supra intensif memiliki nilai EYR terendah dibandingkan budidaya tradisional dan semi intensif. Hal ini menunjukkan setiap proses hanya mengkonversi sumberdaya dari luar sistem ke dalam bentuk energi udang (output) untuk diekspor, tanpa adanya tambahan dari sumberdaya lokal. Menurut Lima *et al.* (2012) tambak tradisional menunjukkan nilai EYR yang lebih tinggi dibandingkan dengan tambak semi intensif karena praktek tambak tradisional yang meliputi penggunaan pupuk organik dan penggunaan pakan alami yang diformulasikan untuk kinerja lingkungan yang lebih baik. Pada tambak supra intensif penggunaan pupuk anorganik dan pakan yang didapatkan dari luar sistem membuat nilai EYR menjadi lebih rendah, dimana pakan menyumbang 31,16% dari total emergy yang masuk kedalam sistem. Sumberdaya lokal yang tersedia pada tambak supra intensif seperti matahari, input air, dan hujan hanya menyumbang secara relatif 0,04 bagian terhadap sumberdaya yang didatangkan dari luar sistem. Nilai sumberdaya yang diimpor (F) pada sistem budidaya supra

intensif terdiri dari pakan sebesar 31,23 %, listrik 50,10 %, bahan bakar 1,91 %, pupuk dan herbisida sebesar 0,58 %, dan tenaga kerja 11,47 %, total nilai emergy yang masuk kedalam sistem sebesar 96,41 %. Hal ini berkorelasi positif terhadap nilai EIR yang menunjukkan bahwa sistem ini kurang efektif dalam penggunaan sumberdaya internal. Menurut Brown dan Ulgiati (2004) nilai EIR sangat berhubungan dengan nilai EYR ($EYR = 1 + 1/EIR$). Berdasarkan persamaan nilai EIR merupakan alternatif proses dengan membandingkan bagaimana penggunaan emergy dalam suatu sistem produksi. Sehingga bisa dikatakan semakin besar EIR dalam suatu sistem maka nilai EYR akan semakin kecil.

Berdasarkan tabel 4, nilai ELR tambak supra intensif sebesar $1,64E+04$ dimana nilai ini merupakan nilai ELR tertinggi pada beberapa sistem budidaya perikanan. Jika dibandingkan dengan nilai ELR sistem tambak tradisional dan semi intensif yang masing-masing sebesar 51,64 dan 58,58, tambak supra intensif memiliki nilai ELR yang lebih besar seratus kali dari tambak tradisional dan semi intensif. Rendahnya input sumberdaya lokal baik itu sumberdaya terbarukan dan sumberdaya tidak terbarukan, yang masuk ke dalam sistem menjadi penyebab tingginya nilai ELR pada budidaya supra intensif. Hal ini perlu menjadi perhatian mengingat tingginya aktivitas perikanan di wilayah pesisir teluk palu. Aktivitas tersebut terdiri dari usaha penangkapan ikan dan pangkalan pendaratan ikan, budidaya laut, wisata bahari, pelabuhan umum, pertambangan, aktivitas pelayanan masyarakat, aktivitas tambang pasir dan batu, serta pembangunan hotel di pesisir teluk palu.

Rendahnya nilai ELR pada tambak tradisional disebabkan peran sistem alami dalam mendukung produksi serta desain sistem budidaya yang berbeda dalam produksi udang. Perbedaan nilai ELR pada tambak udang disebabkan juga masuknya input air sebagai masukan tak terbarukan (N) dalam perhitungan aliran emergy sehingga nilai ELR menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan sistem budidaya perikanan lainnya (Lima *et al.*, 2012).

Berdasarkan tabel 4 sistem budidaya supra intensif memiliki nilai ESI yang paling rendah diantara sistem budidaya tradisional dan semi intensif yaitu sebesar $6,32E-05$. Hal ini jelas menunjukkan bahwa model produksi sistem budidaya supra intensif beresiko tidak berkelanjutan, yang mana menggunakan pakan buatan, pupuk anorganik (fytogro, mingro), dan bahan kimia obat-obatan (bactogro, soilgro, kaporit, thiosulfat). Penggunaan input tersebut ke dalam sistem menyebabkan rendahnya recycle aliran emergy dari sistem ke lingkungan dan menjadi penyebab tingginya dampak terhadap lingkungan. Penggunaan pakan buatan pada sistem budidaya supra intensif dikaitkan dengan dampak lingkungan yang negatif, dimana pakan dan pemupukan adalah sumber utama dari nitrogen dan fosfor dalam tambak yang berimplikasi pada lingkungan. Menurut Boyd dan Green (2002) budidaya udang merupakan potensi sumber pencemaran nutrisi, pengayaan organik, kekeruhan dan sedimentasi di perairan pantai.

4. Kesimpulan dan Saran

Tingginya nilai total emergy input (Y) yang masuk ke sistem sebanding dengan nilai energi output yang dihasilkan. Hal ini berimplikasi pada rendahnya nilai transformity (kualitas energi) dari sistem budidaya udang supra intensif.

Indikasi model sistem budidaya udang supra intensif yang dikembangkan cenderung tidak berkelanjutan dengan mempertimbangkan rendahnya nilai *Emergy Sustainability Index* (ESI). Hal ini mengindikasikan bahwa sistem hanya mengubah berbagai jenis sumberdaya yang diimpor menjadi energi dalam bentuk daging udang. Sistem budidaya supra intensif memerlukan investasi yang besar untuk memproduksi daging udang karena sangat tergantung pada input energi yang diimpor ditunjukkan dengan nilai *Emergy Investment Ratio* (EIR) dan *Environmental Loading Ratio* (ELR) yang besar.

Saran dalam penelitian ini adalah nilai *Emergy Sustainability Index* (ESI) akan naik apabila faktor input sumberdaya yang dibeli dapat dikendalikan.

Penggunaan sumberdaya yang diimpor dari luar sistem dikonversi menjadi sumberdaya yang dapat diperbaharui, sehingga rekomendasi dari penelitian ini adalah: 1) penggunaan energi listrik terbarukan dengan penggunaan alat termoelektrik yang dapat merubah energi panas menjadi energi listrik, hal ini sesuai dengan letak Kota Palu yang berada di equator dimana memiliki potensi energi surya yang besar, penggunaan solar panel juga bisa dilakukan akan tetapi teknologi ini memerlukan biaya yang tidak sedikit, 2) penggunaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dapat dilakukan untuk recycle input air pada tambak sehingga air dapat dikategorikan pada sumberdaya yang dapat diperbaharui, 3) penggunaan pakan alami bisa menjadi solusi untuk mengurangi penggunaan pakan buatan yang terdiri dari bahan anorganik, beberapa budidaya semi intensif dan intensif ikan karp di China melakukan skenario penggabungan pakan buatan dan alami untuk produksi dan keseimbangan lingkungan.

Tabel 4. Indeks Emergy Beberapa Budidaya Perikanan

Lokasi	Budidaya Perikanan	Y	Tr	%R	EYR	EIR	ELR	ESI
Brazil	Tradisional Udang (a)	5,16E+16	3,19E+06	1,9	4,31	0,3	51,64	8,35E-02
Brazil	SemiIntensifUdang(b)	5,84E+16	2,53E+06	1,68	2,13	0,88	58,58	3,64E-02
Ekuador	Semi IntensifUdang©	2,18E+21	1,50E+07	0,23	1,3	3,36	3,43	3,79E-01
China	Tradisional Carp (d)	2,74E+17	5.23E+05	0,72	1,76	1,31	0,38	4,63E+00
China	Semi Intensif Carp (e)	7,10E+16	4,61E+06	0,65	2,19	0,84	0,55	3,98E+00
China	Intensif Carp (f)	1,07E+17	7,66E+05	0,27	1,04	26,9	2,73	3,81E-01
USA	<i>Raft Oysters</i> (g)	2,37E+13	4,45E+06	28,7	1,4	2,49	2,49	5,62E-01
USA	<i>Cage Oysters</i> (h)	2,96E+13	1,31E+07	23,8	1,31	3,21	3,2	4,09E-01
INA	Supra Intensif Udang	7,726E+16	4,98E+05	0,01	1,04	26,8	1,64E+04	6,32E-05

Sumber : (a) (b) Lima *et al.*, (2012), (c) Odum dan Arding, (1991), (d) (e) (f) Zhang *et al.*, (2011), (g) (h) Williamson *et al.*, (2015)

5. Daftar Pustaka

[1] [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2014. Statistik Perikanan Kelautan dalam angka 2014. Diakses pada <http://statistik.kkp.go.id>.

[2] [SCI] Shrimps Club Indonesia, 2015. Launching Teknologi Tambak Supra Intensif, Oktober 2015, Mamboro.

[3] Boyd, C., B. W. Green, 2002. Coastal Water Quality Monitoring in Shrimp Farming Areas: An Example from Honduras Report. World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment.

[4] Brown, M.T., S. Ulgiati S, 1997. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecol. Eng.* 9 (1/2), pp. 51–69.

[5] Brown M. T., and S. Ulgiati, 2004. Energi quality, emergy, and transformity: H.T. Odum’s contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*. Elsevier, pp. 201-213.

[6] Brown M. T., S. Ulgiati, 2004. Encyclopedia of energi. A environmental accounting. Emergy and environmental decision making. John Wiley & Sons, New York.

[7] Brown, M.T. and E. Bardi, 2001. Handbook of Emergy Evaluation Folio 3: Emergy of Ecosystems. Center for Environmental Policy, University of Florida, pp. 90, Gainesville.

[8] Cao L., W. Wang, Y. Yang, C. Yang, Z. Yuan, S. Xiong, J. Diana, 2007. Environmental Impact of Aquaculture and Countermeasures to Aquaculture Pollution in China. *Env Sci Pollut Res.* 14 (7), pp. 452–462.

[9] Cavalett, O., J. F. Queiroz, E. Ortega, 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*. 193, pp. 205-224.

[10] Coelho, O., E. Ortega, V. Comar, 2003. Balanço de emergia do Brasil e Dados de 1996, 1989 e 1981 (Emergy balance of Brazil e Statistics of 1996, 1989 and 1981). *Statistics* 2003. Available from: (accessed 01.10.09.) <http://www.fea.unicamp/docents/ortega/hm>.

- [11] Damar, A., 2004. Eutrofikasi perairan pesisir. Makalah disampaikan pada peringatan hari bumi di Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [12] Lefroy, E., T. Rydberg, 2003. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. *Ecological Modelling*, 161, pp. 193-209.
- [13] Lima, J.S.G., E. C. Rivera, U. Focken, 2012. Emergy evaluation of organic and conventional marine shrimp farms in Guaraira Lagoon, Brazil. *J. Cleaner Prod.* 35, pp. 194–202.
- [14] Londono, N. A. C., D. G. Suarez, H. I. Velasquez, 2014. Emergy Evaluation A Tool for the assesment of Suistainibility Development. *Int. Journal of Engineering*. 4(2), pp. 172-178.
- [15] Odum, H. T., 1996. *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making*. John Wiley and Sons, New York.
- [16] Odum, H. T., 1996. *Environmental accounting: Emergy and environmental policy making*. John Wiley and Sons, New York.
- [17] Odum, H. T., E. C. Odum, 2000. *Modelling for all scales: An introduction system Simulation*. University of Florida. Academic Press, San Diego. California.
- [18] Odum, H. T., M. T. Brown, S. Ulgiati, 2000. Ecosystems as Energetic Systems. In Jørgensen, S.E., Müller, F., (eds.) *Handbook of Ecosystems Theories and Management*. Lewis Publishers, London.
- [19] Odum, H.T., J. E. Arding, 1991. Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in Ecuador. Coastal Resources Center, University of Rhode Island, Narraganset, p. 114.
- [20] Ortega, E., 2006. Tabela de transformidades (Table of transformity). Available from: (accessed 01.10.09.).<http://www.fea.unicamp/docents/ortega/livro/index.htm>.
- [21] Ulgiati S, M T. Brown. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystem. Elsevier. *Ecological Modelling* 108, pp. 23-36.
- [22] Voora, V. and C. Thrift, 2010. Using emergy to value ecosystem goods and services. International institute for sustainable development. Winnipeg, Manitoba Canada.
- [23] Williamson, T. R., D. R. Tilley, E. Campbell. Emergy analysis to evaluate the sustainability of two oyster aquaculture systems in the Chesapeake Bay. Elsevier. *Ecological Engineering* 85 (2015), pp. 103–120.
- [24] Zhang, L. X., S. Ulgiati, Z. F. Yang, B. Chen, 2011. Emergy evaluation and economic analysis of three wetland fish farming systems in Nansi Lake area, China. *Journal of Environmental Management*, 483-494.