

EMERGY; DEFINISI DAN APLIKASINYA DALAM MENDUKUNG PENGAMBILAN KEPUTUSAN UNTUK KEGIATAN KONSERVASI

Puji Rahmadi¹, Suk-mo Lee²

¹Ph.D candidate at Pukyong National University

²Professor at Pukyong National University

River and Marine Ecological Laboratorium, Pukyong National University,
Build. B-14, No. 209,599-1 Daeyeon 3-Dong, Nam-Gu, Busan, South Korea, 608-737
HP. +8210-7217-2803 / E-mail: puji.rahmadi@gmail.com

ABSTRACT

This paper was addressed to introducing new method of measuring the real wealth of environmental value either in the ecological point of view or economically. The new method proposed here was "Emergy analysis" (the available energy of one kind previously used up directly and indirectly to make a production or service). The Emergy analysis was used to gain overviews of the relationship between economy and ecology in relation to the decision making whether the environmental need conservations or not. In this paper some Emergy terminology was introduced as well as the definition of Emergy itself. Some of the Emergy terminology introduced here were; Energy, emergy, solar transformity, exergy, empower and EmValue. Procedure to do Emergy analysis was clearly discussed here and followed by Emergy indices calculation. Based on the result of Emergy indices calculations, we will get recommendation to make the suitable decision about a system, environmental or even production activity.

Keywords : *Emergy, transformity, Emergy-index, conservation.*

PENDAHULUAN

Lingkungan di muka bumi ini menyediakan semua kebutuhan yang diperlukan untuk menyangga kehidupan yang ada di dalamnya seperti, kesuburan tanah, air dan udara yang bersih, iklim yang bagus juga ekologi yang sehat. Semua komponen tersebut merupakan sumber yang memiliki keterbatasan yang mana jika pengelolaan tidak dilakukan dengan baik, daya dukung komponen – komponen tersebut akan menurun dan akhirnya akan mempengaruhi kehidupan manusia. Dewasa ini teknologi berkembang dengan pesat yang juga diikuti dengan perkembangan ekonomi yang sangat tinggi. Hal ini memicu berbagai pihak, baik perusahaan maupun

perorangan dalam menggunakan sumberdaya alam (SDA) yang menyangkut kesejahteraan umum, untuk kepentingan pribadi. Fenomena tersebut biasanya membawa dampak buruk bagi kehidupan ekonomi masyarakat sekitarnya maupun bagi kelestarian lingkungan. Bahkan pada saat ini, isu tentang pemanfaatan SDA dan kelestarian ekologi, juga dalam kegiatan konservasinya terus menuai kontroversi yang tiada henti. Kontroversi ini biasanya disebabkan karena ketidak mampuan dalam melakukan perhitungan diatas kertas mengenai keuntungan dan kerugian dalam menilai suatu kondisi lingkungan.

Kontroversi antara kepentingan ekonomi dan kepentingan konservasi sebetulnya tidak diperlukan jika kita

mampu menghitung nilai lingkungan (*environmental*) secara ekonomi, atau menghitung nilai ekonomi dan lingkungannya sekaligus dalam suatu satuan yang sama, sehingga dapat diperbandingkan. Berkenaan dengan fenomena ini, teori analisis yang mana metodologinya didasarkan pada pertimbangan ekonomi dan ekologi serta menitik beratkan kajiannya pada siklus energy diperkenalkan oleh H.T. Odum dengan istilah “*Emergy*” (Odum, 1983). Emergy yang menggunakan “m” dalam ejaannya, mampu menganalisis suatu produk (barang/jasa), kondisi suatu lingkungan, dan juga usaha yang diberikan manusia untuk menjaga keberlanjutan suatu produk tersebut (Odum, 1962, 1983, 1996).

Dalam penghitungannya, emergy melakukan konversi segala bentuk kondisi kedalam bentuk energi, kemudian menganalisisnya berdasarkan siklus energi. Karena emergy melibatkan siklus energi maka analisa ini menggunakan satuan *emergy-joule* yang biasa disingkat menjadi “*emjoule*” (H. T. Odum (1986), (1988); Scienceman (1987)).

Dalam perkembangannya, ilmu ini tidak hanya saja mampu menganalisis nilai ekonomi dan ekologi dari suatu lingkungan, akan tetapi juga dapat digunakan untuk menganalisis jumlah energi yang dibutuhkan dalam memproduksi dan menjaga keberlanjutan suatu produk tersebut, diatas muka bumi ini (Brown, M. T., & Ulgiati, S., 2004).

Energi dan Emergy

Semua benda di alam ini memiliki energi, dalam ilmu termodinamika suatu energi yang terkandung dalam suatu benda biasanya didefinisikan sebagai “*potential energi yang mampu melakukan suatu usaha*” (Clausius, R., 1850). Lebih lanjut, Clausius menjelaskan bahwa total energi yang terkandung dalam sebuah objek

adalah identik dengan berat nya (massa), selain itu dia juga menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan maupun di musnahkan.

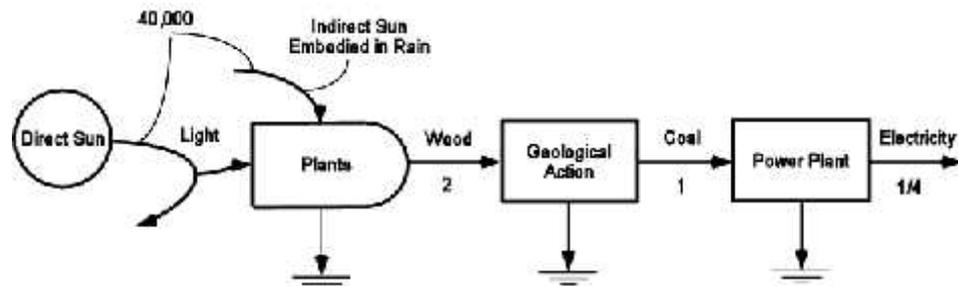
Berkebalikan dari energi, emergy adalah “*jumlah total dari energi yang telah digunakan untuk membuat suatu produk atau jasa baik secara langsung maupun tidak langsung*” (Odum, 1983). Meski demikian, suatu produk atau jasa biasanya diproduksi dengan menggunakan berbagai macam sumber energi yang berbeda jenis maupun kualitasnya. Sebagai contoh, dalam memproduksi sebutir padi, petani memerlukan bermacam – macam jenis energi, seperti energi matahari, pupuk, energi manusia, dsb. Oleh karena itu, agar semua sumber energi yang berkontribusi dapat dihitung dan dilakukan analisis, maka emergy – emergy tersebut harus diubah (dinyatakan) kedalam suatu jenis energi yang sama jenis dan kualitasnya menurut porsinya masing – masing. Dalam ilmu emergy, ada tiga jenis energi yang biasanya digunakan sebagai dasar perhitungan, yaitu energi matahari (solar energi), energi minyak fosil (fuel), dan energi batu bara (Odum, 1996). Meski demikian, umumnya para peneliti lebih cenderung menggunakan solar energi sebagai basis perhitungan dalam emergy, yang artinya segala jenis energi yang berkontribusi dalam suatu proses akan diubah menjadi solar energi (menurut porsinya) sebelum akhirnya dilakukan analisa emergy.

Didalam metode emergy, terdapat beberapa istilah yang sering kali digunakan untuk menyatakan sesuatu yang berkaitan dengan analisa emergy. Istilah – istilah tersebut diantaranya adalah ; transformity, exergy, empower, emValue (em-”*satuan mata uang*”), indek emergy, dsb. Adapun masing – masing pengertian dari istilah tersebut adalah;

a. Transformity

Transformasi energi adalah sebuah proses yang melibatkan satu atau lebih jenis energi yang tersedia kemudian diubah menjadi bentuk energi yang lain dengan jumlah atau porsi yang sama. Sedangkan “transformity” adalah nilai rasio (pembagi) yang digunakan pada proses transformasi dari satu bentuk energi menjadi bentuk energi yang lain. Pada umumnya, input energi untuk suatu proses merupakan hasil (output) dari proses yang lain, di mana energi telah terkonsentrasikan dan kualitasnya telah

meningkat. Oleh sebab itu nilai transformity hampir dipastikan merupakan bilangan asli lebih besar dari 1. Lebih singkatnya transformity adalah “*Emergy per unit ketersediaan energi*” dengan menggunakan satuan emjoule per joule (emJ/J) (Odum, 1994). Pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa energi terkonsentrasi dan kualitasnya meningkat yaitu; 1/4 joule energi listrik dihasilkan dari 1 joule energi batubara, atau 2 joule energi kayu, atau 40.000 joule energi surya.



Gambar 1. Rantai siklus peningkatan kualitas energi yang digunakan dalam kalkulasi nilai transformity dari solar energi menjadi energi listrik (Odum, 1996).

Pada gambar diatas memperlihatkan bahwa solar energi dalam jumlah joule yang sangat besar hanya mampu memproduksi beberapa joule energi kayu, kemudian menjadi beberapa joule energi batubara dan bahkan hanya menghasilkan sedikit sekali energi listrik. Dengan kata lain, jumlah joule yang banyak dengan kualitas energi yang rendah diperlukan untuk memproduksi beberapa joule energi dengan kualitas yang lebih tinggi. Kualitas energi ditentukan dengan mengevaluasi melalui jumlah semua input energi yang dibutuhkan untuk memproduksi energi tersebut (Odum, H.T. & N. Petersen, 1995). Lebih lanjut, kualitas energi juga dapat ditunjukkan dengan 1 joule listrik memiliki kemampuan untuk melakukan

pekerjaan lebih tinggi dari pada 1 joule batubara, kayu atau solar energi.

b. Solar Transformity

Karena pada umumnya peneliti memilih menggunakan analisa emergy berbasis solar energi, maka segala bentuk energi yang terlibat dalam proses, akan diubah menjadi solar energi sebelum dilakukan analisa. Nilai rasio yang digunakan untuk mengubah segala bentuk energi menjadi solar energi ini kemudian disebut “solar transformity” dengan menggunakan satuan solar emjoule per joule (sej/J) (Odum, 1996).

c. Exergy

Exergy secara singkat dapat dikatakan sebagai usaha maximum yang dapat dilakukan oleh suatu sistem yang

membawa sistem tersebut kedalam kondisi kesetimbangan dengan lingkungannya. Setelah sistem dan lingkungan sekitarnya mencapai kesetimbangan, nilai exergy adalah nol. Exergy merupakan energi dalam kondisi yang berbeda sehingga menggunakan satuan yang identik yaitu joule (J) (Z. Rant, 1956).

d. Empower

Sebuah benda atau suatu sistem memerlukan usaha atau mengeluarkan energi untuk mempertahankan eksistensinya dan/atau menjaga titik kesetimbangannya. Pada kondisi tersebut, jumlah aliran energi yang dikeluarkan dalam tiap satuan waktunya disebut dengan "empower", diukur menggunakan satuan energi per satuan waktu (emJ/yr; sej/yr; dsb) (H. T. Odum, 1996).

e. EmValue (em-"satuan mata uang")

Emvalue adalah nilai perbandingan untuk tiap unit satuan emergy per satuan mata uang pada suatu daerah tertentu dimana emergy analysis tersebut dibuat. Disini dengan melibatkan Emvalue maka kita mampu membandingkan nilai manfaat ekonomik dan manfaat secara ekologi dari suatu kondisi atau suatu proses berdasarkan sudut pandang nilai mata uang di suatu tempat (Daerah/Negara) dan suatu waktu tertentu. Dengan kata lain, EmValue adalah nilai daya beli mata uang terhadap satu satuan energi yang digunakan dalam suatu proses. Nilai daya beli mata uang terhadap energi ini dihitung dengan menggunakan satuan "em-satuan mata uang", sebagai contoh *emRp* (emRupiah) untuk Indonesia, atau *em\$* (emdollar) untuk internasional. Nilai EmValue ini diperoleh dari total emergy yang digunakan untuk suatu produk atau sistem dibagi dengan total emergy yang ada di daerah tertentu per produk domestik bruto (GDP) pada daerah tersebut. Dengan menggunakan EmValue

maka kita akan mampu menentukan nilai fungsi dari suatu lingkungan, apakah keuntungan ekonominya lebih besar atau keuntungan ekologi lebih besar (Boyles, 1975). Berangkat dari perbandingan nilai emValue tersebut maka pembuat kebijakan diharapkan akan dengan mudah dapat menentukan suatu ekologi layak di lakukan konservasi atau dieksplorasi untuk kepentingan ekonominya.

Konsep Emergy

Konsep solar emergy diperkenalkan oleh H. T. Odum (Odum, 1996), sebagai dasar munculnya gagasan ini adalah ketergantungan segala proses yang ada di muka bumi ini terhadap solar energi (langsung atau tidak langsung) untuk membuat suatu produk atau proses atau untuk mendukung keberlangsungan suatu sistem pada lingkungan tertentu. Emergy yang mengacu pada solar energi (sej) yang terkandung dalam sebuah produk, jasa atau dalam daya dukungnya terhadap perekonomian, pada dasarnya merupakan aplikasi dari hukum termodinamika dan teori sistem. Emergy dapat dihitung atau dianalisa sepanjang jalur apapun dalam suatu proses atau sistem. Bagaimana kemudian nilai-nilai dalam analisa emergy ini digunakan tergantung pada tujuan evaluasi. Jika maksud dari peneliti adalah untuk mencoba menentukan nilai/manfaat (value) dari sebuah produk, jasa, sistem atau komoditas, maka semua emergy yang menyusun obyek tadi harus ditelusuri terlebih dahulu untuk kemudian dikonversikan menjadi solar energi dan kemudian dijumlahkan.

Prosedur evaluasi Emergy

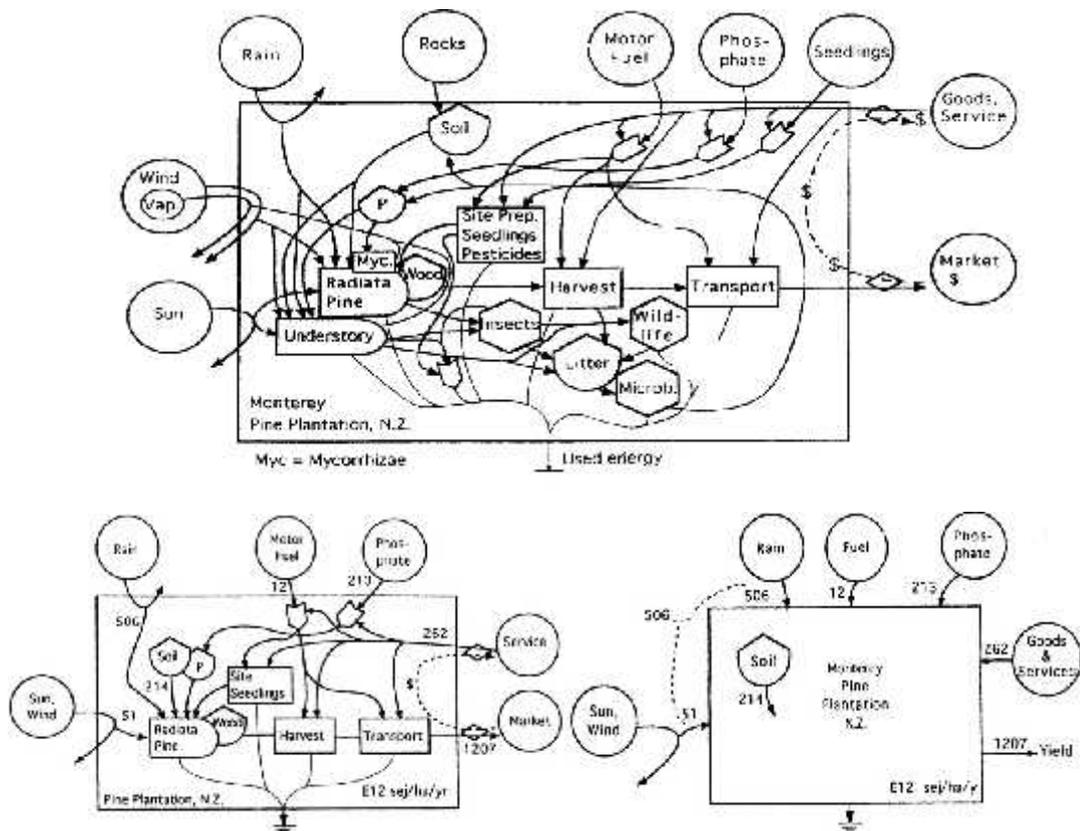
Dalam aplikasi analisa emergy, ada beberapa langkah atau prosedur yang harus ditempuh agar analisa emergy menjadi lebih mudah dan jelas untuk di pahami. Prosedur yang disarankan dalam analisa

emergy adalah sebagai berikut:

- **Penyusunan diagram energi**

Untuk memahami suatu masalah kita perlu mengetahui bagaimana mekanisme dari masalah tersebut dan terlebih lagi faktor apa saja yang mempengaruhi masalah tersebut. Untuk pemahaman, evaluasi, dan mensimulasikan sebuah masalah, prosedur dimulai dengan penyusunan diagram dari suatu sistem berdasarkan skala yang kita harapkan.

Pertama kali kita harus membuat diagram yang lengkap yang benar – benar mewakili kondisi sebenarnya dari suatu sistem yang akan kita kaji, meskipun suatu faktor yang pengaruhnya sangat kecil, kita juga harus memasukkannya dalam diagram awal ini. Setelah diagram awal (initial diagram) sudah jadi, yang pastinya sangat kompleks sehingga perlu adanya penyederhanaan dengan tanpa menghilangkan atau mengeliminasi satupun dari sumber energi yang ada (George Knox, 1986).



Gambar 2. Diagram energi sistem dari perkebunan Cemara di Monterey, New Zealand (Odum, 1996)

Gambar 2 adalah sebuah contoh diagram energi yang menunjukkan proses pembuatan diagram energy yang dimulai dari inisial diagram sampai dengan yang sudah menjadi lebih sederhana dengan tanpa menghilangkan satupun sumber energi yang terlibat di dalamnya. Diagram “a” adalah initial diagram yang memuat semua komponen yang terlibat, oleh

karena itu terlihat sangat kompleks. Untuk memberikan pemahaman yang lebih mudah, maka diagram “b” di susun dengan makna yang identik tetapi menggunakan komposisi yang lebih sederhana. Dengan tanpa mengurangi makna dari diagram - diagram sebelumnya, diagram “c” disusun dengan lebih sederhana hanya dengan tujuan untuk memberikan gambaran

singkat terhadap suatu sistem yang sedang dilakukan pengkajian.

Suatu sistem pastinya tidak luput dari faktor yang bersumber pada ekologi dan sekaligus ekonomi, untuk menjembatani agar semua faktor tersebut dapat di evaluasi, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan saat pembuatan diagram. Hal yang menjadi bahan pertimbangan dalam penyusunan diagram adalah; penentuan skala sistem yang akan di evaluasi, pentingnya pendataan sumber energi yang terlibat dalam sistem yang kita kehendaki, kecermatan dalam melakukan penyederhanaan diagram, hubungan atau interaksi antar faktor didalam diagram yang kita susun, dan yang tidak kalah pentingnya adalah ketepatan dalam penyusunan sumber daya dan komponen-komponen lain menurut tingkatan kualitas energinya.

- **Pembuatan table emergy**

Langkah selanjutnya dalam melakukan analisa emergy adalah pembuatan table emergy. Tabel emergy ini sangat penting karena semua daftar komponen dari sumber energi yang terlibat dalam suatu sistem yang kita evaluasi akan kita susun didalam table ini. Tabel emergy terdiri dari enam (6) kolom yang masing-masing memiliki fungsi antara lain;

- Kolom 1, *nomer urut*
- Kolom 2, *item*, segala jenis sumber daya energi yang terlibat dalam sistem, akan kita data dan kemudian kita masukkan kedalam kolom ini.
- Kolom 3, *data*, pada kolom ini kita dapat memasukkan data mentah (raw data) dari tiap sumber enery yang telah kita tentukan pada kolom 2. Data mentah disini berarti data yang diperoleh langsung dari lapangan

berkenaan dengan porsi masing-masing faktor pada kolom 2 dalam mempengaruhi suatu sistem. Masing-masing data menggunakan satuan yang sesuai dengan jenis datanya (J, gr, \$, etc.).

- Kolom 4, *Transformity*, dimana kita harus mengisikan masing-masing nilai rasio dari faktor yang sudah ditentukan pada kolom 2 agar data lapangan kita menjadi homogen, atau mempunyai jenis, tipe, dan kualitas yang sama antara satu faktor dengan faktor yang lain dalam satu sistem. Satuan yang digunakan dalam kolom ini sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya, akan tetapi demi kemudahan interpretasi para peneliti lebih mengacu pada penggunaan data yang berbasis pada solar energi, yaitu solar energi per unit energi pada kolom 3 (sej/unit).
- Kolom 5, *Emergy*, Kolom ini merupakan hasil perkalian antara kolom 3 dengan kolom 4, data yang terdapat pada kolom ini merupakan data jumlah/porsi dari aliran emergy “emergy flow” pada tiap factor. Data hasil perkalian ini merupakan data homogen (berbentuk solar energi) sehingga otomatis dapat dilakukan operasi matematis. Oleh karena kita mengacu pada data yang berbasis pada solar energi, maka kolom ini juga memiliki satuan solar energi per satuan waktu, biasanya digunakan hitungan rata – rata tahunan (sej/yr).
- Kolom 6, *EmValue*, pada akhirnya kita dapat melakukan pembagian dari jumlah emergy pada kolom 5 dengan nilai daya beli satuan mata uang terhadap emergy pada suatu daerah dan pada waktu tertentu.

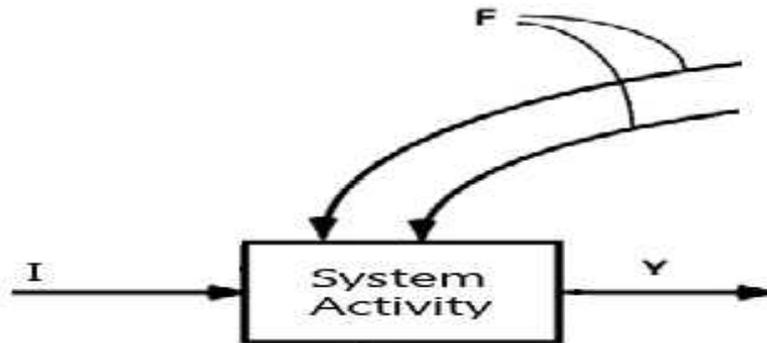
Tabel 1. Contoh pembuatan tabel emergy

No.	Item	Data (unit) (J, g, or \$)	Transformity (sej/unit)	Solar Emergy (sej/yr)	EmValue (em\$/yr)
(Diisikan masing – masing baris sesuai dengan data lapangan)					

• **Interpretasi atau pembacaan hasil dari tabel emergy**

Setelah tabel emergy sudah dibuat, data pada masing – masing kolom dapat dilengkapi, tabel tersebut belum bisa langsung digunakan sebagai hasil akhir, dengan kata lain analisa belum sampai pada titik kesimpulan. Berdasar pada data yang diperoleh didalam tabel, beberapa

parameter perlu dihitung untuk mendapatkan interpretasi dari suatu sistem atau produk yang dievaluasi. Parameter – parameter tersebut kemudian oleh Mitchell (1979) di gambarkan kedalam suatu diagram aliran emergy dan dikenal dengan istilah “*diagram tiga lengan*”, yang diperlihatkan pada gambar berikut;



Gambar 3. Diagram tiga lengan dari suatu sistem yang didukung oleh beberapa sumber energi.

Pada gambar diatas, sumber energy yang berasal dari sumber daya alam (dalam hal ini tidak memandang sumber daya yang terbarukan maupun tak terbarukan) di gambarkan dengan input energi dari lengan sebelah kiri (*I*). Lebih lanjut, Odum (1996a) baru menjelaskan bahwa sumberdaya alam terdiri dari sumber daya yang terbarukan (*R*) dan sumber daya tak terbarukan (*N*). Selanjutnya sumber energy yang berasal dari sektor ekonomi (*F*) digambarkan sebagai input energi dari sebelah kanan atas ke bawah sebagai ungkapan timbal baliknya (feedback) dari hasil produksi terhadap sistem. Parameter

terahir adalah hasil atau produk (*Y*) yang digambarkan pada sistem dengan output sebelah kanan menuju arah luar. Dari data – data ini kita dapat mengetahui seberapa besar kontribusi sumberdaya alam maupun faktor ekonomi dalam mempengaruhi suatu proses atau sistem produksi (Mitchell, 1979).

$$Y = F + I$$

$$I = R + N$$

Pada persamaan diatas terlihat bahwa *Y* (total emergy terpakai) mempunyai perbandingan lurus dengan *F*

(emergy yang bersumber dari ekonomi) ditambah dengan I (emergy dari sumber daya alam). Sedangkan I sendiri merupakan gabungan (jumlah) dari R (sumber daya alam terbarukan) dan N (sumber daya alam tak terbarukan). Dengan demikian, penggunaan rumus diatas dalam bidang emergy, akan memberikan gambaran suatu barang atau jasa lebih tergantung pada sektor ekonomi ataukah pada sektor sumberdaya alam.

Pada dasarnya evaluasi dengan menggunakan emergy dapat dicukupkan sampai pada kondisi ini, akan tetapi untuk memprediksi keadaan yang akan datang, atau untuk mengetahui kondisi nyata dari suatu sistem, maka indikator perlu di evaluasi. Seperti halnya pada analisa kualitas air maupun analisa lainnya, pada analisa emergy juga terdapat berbagai indikator yang selanjutnya nilai – nilai indikator ini disebut dengan *Indeks Emergy*.

- ***Indek Emergy***

Indeks sendiri merupakan suatu bilangan atau konstanta yang digunakan untuk memberikan skala atau tingkatan suatu kondisi berdasarkan data yang tersedia. Indeks Emergy sendiri ada berbagai macam, masing-masing memberikan gambaran tentang kondisi yang berbeda sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan pada penggunaan suatu barang atau suatu sistem. Dalam ilmu emergy dikenal beberapa indeks, antara lain adalah;

- ***Emergy Yield Ratio (EYR)***

EYR atau bisa disebut juga dengan “*indeks produksi*” adalah perbandingan antara nilai produk atau jasa yang dihasilkan terhadap jumlah emergy dari biaya yang dikeluarkan (modal terbeli) guna memproduksinya (bahan dari sumber daya alam tidak termasuk).

$$EYR = \frac{Y}{F}$$

Dalam EYR, untuk menghindari kerugian dalam konteks energi, output dari suatu sistem harus setidaknya sama dengan input yang digunakan, yaitu ketika perbandingan emergy hasil dan emergy yang dibutuhkan sama dengan satu (Odum & Arding, 1991). Semakin tinggi nilai indeks ini maka suatu sistem atau suatu produk memiliki ketahanan dan potensi kelestarian yang semakin tinggi, sehingga kegiatan konservasi layak dilakukan.

- ***Emergy Invesment Ratio (EIR)***

Emergy Invesment Ratio disebut juga “*indeks permodalan*” adalah rasio perbandingan antara modal terbeli dengan modal yang merupakan input dari sumber daya alam baik yang terbarukan maupun yang tak terbarukan (Odum, 1996).

$$EIR = F/(R+N)$$

Semakin kecil nilai rasio ini, semakin kecil biaya yang dibutuhkan untuk memproduksi, sehingga produksi barang atau jasa tersebut memiliki potensi keuntungan secara ekonomi dan tingkat kelestarian yang tinggi (Li, L., et al., 2010). Berdasarkan nilai indeks EIR ini pembuat kebijakan akan mampu menentukan apakah kegiatan produksi di hentikan atau diberikan dukungan yang lebih.

- ***Environmental Loading Rate (ELR)***

Indeks ini disebut juga dengan “*indeks beban lingkungan*”, dimana menyatakan seberapa besar suatu produk atau sistem tergantung pada input dari lingkungan sekitarnya. Indeks beban lingkungan dapat

dihitung dengan membandingkan jumlah energy dari sumber daya alam tak terbarukan ditambah energy dari sektor ekonomi, dengan energy yang berasal dari sumber daya alam terbarukan. Semakin tinggi nilai indeks ini akan menggambarkan bahwa produk atau sistem semakin tergantung pada modal terbeli dan sumberdaya tak terbarukan, semakin rendah nilai indeks ini maka produk atau sistem memiliki kecenderungan lebih tergantung pada sumber daya alam terbarukan dan memiliki tingkat kelestarian yang cukup tinggi.

$$ELR = (F+N)/R$$

Indeks ini juga dapat menjadi indicator seberapa besar tekanan yang diberikan suatu produk atau sistem kepada ekologi di lingkungan sekitarnya pada saat proses produksi. Brown and Ulgiati (2004b), mengklasifikasikan tingkat stress lingkungan akibat dari proses produksi tersebut diatas menjadi tiga kelompok berdasarkan nilai ELR-nya. $ELR < 2$ menunjukkan aktifitas produksi suatu produk atau sistem memberikan dampak yang tidak nyata atau tidak membahayakan bagi kondisi lingkungan sekitarnya, $ELR 3 - 10$ mengindikasikan dampak yang nyata dan semakin mendekati nilai 10, berarti lingkungan sekitar kegiatan produksi sudah mulai stress dan perlu penanganan yang baik. Lebih lanjut Brown and Ulgiati menyatakan apabila ELR suatu produk atau sistem sudah >10 , hal ini menunjukkan dampak lingkungan yang ekstrem dan perlu adanya tindakan pencegahan atau penghentian kegiatan produksi. Pada umumnya tingginya nilai ELR disebabkan oleh suatu produk atau sistem yang sangat tergantung sekali

terhadap sumber daya alam yang tak terbarukan, sehingga dalam kasus seperti ini konservasi tidak perlu lagi dilakukan (Brown, M.T., Buranakarn, V., 2003).

- *Environmental Sustainability Index (ESI)*

Indeks ini disebut juga dengan "indeks kelestarian", digunakan untuk menganalisis keberlanjutan/kelestarian lingkungan dan ekologi dalam rangka mendukung kelangsungan (kontinuitas) dari proses produksi suatu produk atau jasa. Nilai ESI dapat diperoleh dengan membandingkan nilai dari EYR dengan ELR.

$$ESI = EYR/ELR$$

Semakin besar nilai ESI, semakin tinggi kesempatan kelestariannya dan semakin tinggi kesempatan keberlanjutan sistem tersebut.

KESIMPULAN

Uraian diatas menjelaskan tentang suatu metode baru dalam menganalisa kondisi lingkungan baik secara ekonomik maupun secara ekologinya kedalam suatu bentuk energi yang memiliki kesamaan tipe dan kualitas sehingga dapat diperbandingkan secara nyata. Metode yang dimaksud biasa disebut dengan metode analisa emergy. Hasil analisa ini kemudian mampu memberikan bukti (indeks emergy) sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan suatu kegiatan produksi maupun suatu kondisi lingkungan (konservasi, remediasi, rehabilitasi ataupun alih guna, dsb.). Analisa emergy tidak hanya mampu di terapkan dalam dunia ekologi dan konservasi lingkungan, metode ini dapat

dipakai untuk menganalisa segala jenis kondisi lingkungan maupun usaha produksi, seperti; konservasi daerah pesisir, kegiatan produksi perikanan seperti kegiatan budidaya maupun perikanan tangkap, bahkan dapat diaplikasikan secara modern seperti tingkat keberlanjutan produksi tekstil atau produksi mobil sekalipun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan sebagian dari rangkuman materi ajar pada program doctoral yang penulis tempuh, oleh karena itu terimakasih penulis ingin sampaikan kepada Prof. Lee Sok-mo pada khususnya, atas saran dan bimbingannya selama penulis menempuh studi. Terimakasih juga penulis sampaikan kepada segenap staff pengajar program doctoral di Universitas Negeri Pukyong (PKNU) – Busan, atas segala dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Boyles, J. V. 1975. *Accounting for long-lived productive resources: The development and evaluation of general energy systems measurement procedures*. Ph. D. Dessionation, Dept. of Accounting, Univ. of Florida, Gainesville. 198 pp.
- Brown, M.T., Buranakarn, V., 2003. *Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options*. Resource Conservation Recycle. 38,1–22.
- Brown, M. T., & Ulgiati, S. 2004a. *Energi quality, emergy, and transformity*: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 178, 201–213.
- Brown, M.T., & Ulgiati, S., 2004b. *Emergy analysis and environmental accounting*. *Encyclopedia Energi* 2, 329–354.
- Clausius, R. 1850. *Ueber die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen*, *Annalen der Physik und Chemie* (Poggendorff, Leipzig), 155 (3): 368-394, particularly on page 373, translation was taken from Truesdell, C.A. 1980. *The Tragicomical History of Thermodynamics, 1822-1854*, Springer, New York, pages 188-189.
- Knox, G. A. 1986. *Estuarine ecosystem: A System Approach*. CRC Press, Boca Raton, Fla. Vol. 1, 289 pp; vol. 2, 230 pp.
- Li, L., et al., 2010. *Emergy evaluations of three aquaculture systems on wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China*. *Ecol. Indicat.*doi:10.1016/j.ecolind.2010.07.008
- Mitchell, R. 1979. *The Analysis of Indian Agro - Ecosystem*. Interprint, New Delhi. 180pp.
- Odum, H.T., Odum, E.C., 1983. *Emergy analysis overview of nations*. Working Paper WP-83-82. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, p. 421.
- Odum, H.T., 1986. *Emergy in ecosystems*. In: Polunin, N. (Ed.), *Ecosystem Theory and Application*. John Wiley and Sons, New York.
- Odum, H.T., 1988. *Self-organization, transformity, and information*. *Science* 242, 1132–1139.
- Odum, H.T., 1994. *Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology*. University Press of Colorado.
- Odum, H.T., J.E. Arding, 1991. *Emergy Analysis of Shrimp Mariculture in*

- Ecuador*. University of Rhode Island Coastal Resources Center, Narraganset. 114 pp.
- Odum, H.T. and N. Petersen, 1995. *Simulation and evaluation with energy systems blocks*. *Ecol. Modeling* 93:155-173
- Odum, H.T., 1996a. *Environmental Accounting: Emergy & Envi. Decision Making*. Wiley, New York.
- Odum, H.T., 1996b. *Emergy Quality and Carrying Capacity of the Earth*. *Trop. Ecol.* 16(1):1-8
- Scienceman, D. M. 1987. *Emergy and Emergy*. pp. 257-276 in *Environmental Economics*, ed. By G. Pillet and T. Murota. Roland Leimgruber, Geneva. 308. Pp.
- Z. Rant (1956). "*Exergie, ein neues Wort fur "Technische Arbeitsfahigkeit" (Exergy, a new word for "technical available work")*". *Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens* 22: 36-37.