

## Penilaian Kinerja Lingkungan pada Proyek Konstruksi

Ferry Firmawan\*, Fadil Othman, PhD\*\*, Khairulzan Yahya, PhD\*\*\*

\* PhD student of Civil Engineering UTM – Lecture of Civil Engineering Universitas Islam Sultan Agung ( UNISSULA) Semarang

\*\* UTM Professor of Environmental Engineering

\*\*\* Senior Lecturer Civil Engineering Faculty UTM

Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Johor Bahru

**Abstrak :** *Industri konstruksi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan disebabkan oleh meningkatnya volume limbah yang dihasilkan oleh aktivitas konstruksi itu sendiri. Berbagai literatur menunjukkan bahwa upaya mengurangi limbah (reducing waste) menjadi sangat penting untuk dilakukan di semua tahapan konstruksi karena sampai saat ini masih menjadi cara terbaik dalam pengelolaan dan penanganan limbah. Penelitian yang ada di seluruh dunia telah banyak mengevaluasi berbagai dampak limbah dan energi yang ditimbulkan selama kegiatan konstruksi. Paper ini membahas tentang berbagai model penilaian (assessment) kinerja lingkungan dari suatu penelitian sebelumnya yang telah digunakan secara internasional. Dan paper ini menyajikan kajian kritis dari metode terbaru dalam penilaian kinerja lingkungan dari proyek-proyek konstruksi. Metode yang digunakan untuk mengukur kinerja lingkungan antara lain: Contractor's Environmental Performance Scoring System (C-EPSS), Environmental Performance Assessment (EPA), Building Waste Assessment Score (BWAS) Waste Management Performance Evaluation Tool (WMPET) dan Environmental Performance Score (EPS).*

*Kata kunci: Limbah Konstruksi, Model Kinerja Lingkungan, Indikator Penilaian*

### Pendahuluan

Industri konstruksi memberikan keuntungan bagi kebutuhan manusia, baik karena aktifitasnya itu sendiri maupun kemajuan sosial yang ditimbulkannya. Di sisi lain, industri konstruksi juga menghasilkan dampak yang cukup berpengaruh terhadap lingkungan (Bossink dan Brouwers, 1996). Adanya kecenderungan peningkatan nilai konstruksi yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan akan berakibat pula pada penurunan kualitas lingkungan. Beberapa waktu ini masalah yang terkait dengan kinerja lingkungan telah menjadi topik diskusi yang menarik dalam mengatasi permasalahan limbah konstruksi agar limbah yang dihasilkan seminimal mungkin. Ada sejumlah penelitian tentang masalah lingkungan yang terkait dengan kegiatan konstruksi (Shen et al, 2005; Tam dan Le, 2007; Ekanayake dan Ofori 2004, Gangoellis et al, 2009.). Dampak yang terkait dan sumber limbah harus diukur secara kuantitatif untuk menentukan status lingkungan tersebut. Dengan

demikian, hal ini akan membantu dalam upaya mendapatkan pemahaman dalam mengidentifikasi tindakan-tindakan untuk mengurangi resiko yang terjadi akibat limbah konstruksi.

Pemerintah mempunyai peran penting dalam merumuskan kebijakan dan peraturan untuk menjaga dan memonitor penerapan konstruksi berkelanjutan agar dampak negatif yang ditimbulkan oleh aktifitas konstruksi dapat diupayakan seminimal mungkin. Mengingat isu dampak lingkungan terutama yang ditimbulkan oleh konstruksi sudah sangat krusial, maka sudah sepatutnya pemerintah mengadopsi berbagai literatur yang berhubungan dengan pengelolaan limbah konstruksi dalam penentuan arah kebijakannya. Pemerintah Jepang menerapkan *recycling law* untuk mengatasi berbagai permasalahan yang ditimbulkan oleh pembangunan konstruksi serta mendorong dan mengontrol penggunaan kembali bahan-bahan limbah tersebut yang dihasilkan oleh proses konstruksi (Kawano, 2003 cited in Rao *et al*, 2007).

Limbah konstruksi merupakan bahan yang tidak diinginkan dalam kegiatan konstruksi yang dihasilkan dalam jumlah besar dan mengakibatkan dampak lingkungan. Limbah tersebut bisa berupa batu, beton, batu bara, atap, instalasi listrik dan lain sebagainya. Limbah material konstruksi dihasilkan dalam setiap proyek konstruksi, baik itu proyek pembangunan maupun proyek pembongkaran (*construction and demolition*). Seperti yang disampaikan oleh Firmawan (2006) bahwa indikator yang paling berpengaruh terhadap penyebab terjadinya penyimpangan biaya material adalah proses pembelian, selain pengangkutan, penyimpanan ataupun dalam proses penggunaan material.

Berbagai penelitian telah mengembangkan beberapa metode dalam penilaian dampak lingkungan untuk mengidentifikasi pengukuran yang efektif dalam dampak yang terkait dengan aktifitas konstruksi seperti limbah yang dihasilkan, polusi suara, air dan udara (EPD, 2003). Penelitian yang dilakukan oleh Graham and Smithers (1996) menemukan bahwa faktor yang menyebabkan limbah konstruksi dalam proyek *life cycle* mencakup tahap desain dan pengadaan bahan. Masudi dkk. (2011) menjelaskan bahwa jenis bangunan, desain dan ukuran proyek dan manajemen merupakan faktor utama yang mempengaruhi jumlah limbah konstruksi. Maka kontraktor dituntut supaya berperan aktif dalam kepedulian terhadap lingkungan.

Tujuan paper ini adalah untuk melakukan tinjauan kritis dari metode evaluasi kinerja lingkungan untuk lokasi konstruksi dari penelitian sebelumnya yang digunakan di negara tertentu. Sementara beberapa alat dicoba untuk memilih menggunakan metode yang paling tepat dan berlaku. Ada beberapa metode evaluasi kinerja lingkungan yang populer antara lain adalah *Contractor's Environmental Performance Scoring System (C-EPSS)*, *Environmental Performance Assessment (EPA)*, *Building Waste Assessment Score (BWAS)* *Waste Management Performance Evaluation Tool (WMPET)* dan *Environmental Performance Score (EPS)*.

1. Model C-EPSS dikembangkan oleh Shen dkk. (2005)

C-EPSS (*Contractor's Environmental Performance Scoring System*) adalah sebuah alat komputerisasi yang digunakan untuk menilai kontraktor selama melakukan tahapan operasional dari proyek konstruksi. C-EPSS menggunakan program sistem sederhana yang dirancang untuk menilai indikator kinerja lingkungan.

Metode ini difokuskan pada beberapa faktor, indikator dan parameter yang mempengaruhi *environmental performance* (EP). Faktor-faktor yang mempengaruhi EP meliputi: kegiatan operasional (F1), manajemen tempat (F2), manajemen proyek (F3), teknologi manajemen lingkungan (F4) dan kebijakan manajemen lingkungan (F5). Kriteria kinerja indikator mempertimbangkan bahwa yang akan menjadi pengaruh utama dari EPS adalah: dampak lingkungan (I1), kinerja sumber daya lingkungan (I2), kontribusi terhadap keberlanjutan (I3), dampak publik (I4) dan perlindungan bagi tenaga kerja (I5).

Perhitungan EPS didasarkan pada skor total yang diperoleh dari hasil penilaian pada level kedua indikator kinerja lingkungan, dan kemudian terbagi dari lima level indikator utama, seperti yang dijelaskan dalam istilah berikut ini:

$$EPS = \sum_{i=1}^5 W_i S_i$$

Dimana  $S_i$  = skor yang diperoleh dari lingkungan dengan indikator  $I_i$  ;  $W_i$  = pekerja untuk menunjukkan hubungan signifikan antara  $I_i$  dan semua indikator.

Setiap indikator level pertama  $I_i$  terdiri dari indikator level kedua  $I_{i-j}$  dan memiliki berat yang berbeda dalam  $I_i$ . Oleh karena itu,  $S_i$  adalah struktur sebagai skor tertimbang dari menilai indikator level kedua  $I_{i-j}$ . Penelitian menunjukkan nilai bobot parameter dan  $W_i$   $W_{ij}$ . Untuk mengukur  $S_i$ , Shen dkk menggunakan rumus ini:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^5 x_{i-j}^n}{\sum_{n=1}^5 F_{i-j}^n}$$

Dimana  $S_i$  selalu tergantung pada input yang merupakan indikator  $I_{i-j}$  seperti yang dijelaskan pada Gambar 1 di bawah ini

| 1st Level Indicator | Weight | 2nd level Indicator                       | Weight | Factor1 |     | Factor2 |     | Factor3 |     | Factor4 |     | Factor5 |     | Summary |
|---------------------|--------|---|--------|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|
|                     |        |   |        | MAX     | Cdt |         |
| I1                  | 0.461  | 11-1 (Ecology impact)                     | 0.310  | 4       | 2   | 1       | 1   | 5       | 3   | 5       | 3   | 0       | 0   | 0.6000  |
|                     |        | 11-2 (Toxics generation)                  | 0.330  | 4       | 2   | 2       | 0   | 5       | 2   | 3       | 1   | 4       | 2   | 0.3899  |
|                     |        | 11-3 (Waste generation)                   | 0.125  | 10      | 7   | 5       | 1   | 14      | 7   | 7       | 4   | 6       | 4   | 0.5476  |
|                     |        | 11-4 (Air pollution)                      | 0.090  | 3       | 0   | 6       | 4   | 10      | 4   | 5       | 2   | 7       | 2   | 0.3871  |
|                     |        | 11-5 (Land pollution)                     | 0.045  | 2       | 2   | 3       | 2   | 4       | 3   | 2       | 1   | 1       | 1   | 0.2963  |
|                     |        | 11-6 (Water pollution)                    | 0.065  | 2       | 1   | 7       | 5   | 8       | 5   | 6       | 3   | 2       | 2   | 0.6400  |
|                     |        | 11-7 (Noise Pollution)                    | 0.035  | 7       | 4   | 2       | 0   | 9       | 4   | 5       | 2   | 4       | 2   | 0.4444  |
| I2                  | 0.252  | 12-1 (Extraction of raw materials)        | 0.245  | 0       | 0   | 0       | 0   | 2       | 2   | 2       | 2   | 2       | 2   | 1.0000  |
|                     |        | 12-2 (Energy for manufacturing materials) | 0.606  | 1       | 0   | 0       | 0   | 3       | 1   | 3       | 1   | 3       | 1   | 0.3000  |
|                     |        | 12-3 (Transportation resources)           | 0.048  | 0       | 0   | 3       | 2   | 4       | 2   | 3       | 1   | 2       | 1   | 0.5000  |
|                     |        | 12-4 (Energy consumption on site)         | 0.101  | 1       | 1   | 1       | 1   | 3       | 2   | 3       | 2   | 1       | 1   | 0.7776  |
| I3                  | 0.166  | 13-1 (Materials recycling)                | 0.324  | 2       | 0   | 3       | 2   | 8       | 4   | 6       | 3   | 4       | 3   | 0.5217  |
|                     |        | 13-2 (Resources/materials reusing)        | 0.601  | 2       | 2   | 4       | 1   | 8       | 4   | 7       | 4   | 4       | 1   | 0.4800  |
|                     |        | 13-3 (Energy saving)                      | 0.076  | 1       | 1   | 2       | 1   | 4       | 2   | 2       | 1   | 3       | 1   | 0.5000  |
| I4                  | 0.061  | 14-1 (Public health effect)               | 0.258  | 2       | 1   | 1       | 1   | 2       | 1   | 1       | 0   | 0       | 0   | 0.5000  |
|                     |        | 14-2 (Public safety)                      | 0.105  | 3       | 0   | 3       | 2   | 3       | 3   | 0       | 0   | 0       | 0   | 0.7273  |
| I5                  | 0.040  | 15-1 (Site hygiene condition)             | 0.637  | 0       | 0   | 5       | 2   | 5       | 3   | 0       | 0   | 0       | 0   | 0.5000  |
|                     |        | 15-2 (Training provision)                 | 0.731  | 3       | 2   | 4       | 0   | 7       | 2   | 2       | 2   | 5       | 0   | 0.2857  |
|                     |        | 15-3 (Safety measure provision)           | 0.188  | 4       | 2   | 5       | 2   | 7       | 4   | 4       | 2   | 4       | 3   | 0.5417  |
|                     |        |   | 0.061  | 5       | 2   | 7       | 4   | 9       | 4   | 5       | 3   | 1       | 0   | 0.4615  |

Gambar 1. Perhitungan C-EPSS (Sumber: Shen et al., 2005)

2. Model *Environmental Performance Assessment (EPA)* dikembangkan oleh Tam and Le (2007)

Tam dan Le (2007) mengembangkan sebuah metode untuk mengevaluasi efektivitas EPA dengan menghubungkan faktor input di level operasional dan faktor output dari hasil kinerja lingkungan di Hongkong dan Australia. Penelitian ini difokuskan pada EOIs (*Environmental Operational Indicators*) dan EPIs (*Environmental Performance Indicators*), dengan EOIs mengarahkan kepada input dan EPIs mengarahkan kepada output. Keduanya digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dan efektifitas sistem manajemen lingkungan (Canadian Institute of Chartered Accountants, 1994).

*Environmental Operational Indicators* (EOIs) meliputi: EOI-1: Perencanaan Lingkungan; EOI-2: Konsumsi Energi; EOI-3: Pemeliharaan Peralatan; EOI-4: Kontrol polusi Udara; EOI-5: Kontrol Polusi Kebisingan; EOI -6: Kontrol Polusi Air; EOI-7: Kontrol Polusi Limbah; EOI-8: Kontrol Ekologi. Sementara EPI meliputi: EPI-1: Lingkungan; EPI-2: Regulasi; EPI-3: Aktivitas Audit; EPI-4: Limbah; EPI-5: Tingkat Kecelakaan.

Dalam metode ini, *Robust Fitting Method* and *Spectral Method* digunakan untuk mendapatkan hubungan dan pengaruh baik EOIs dan EPIs dalam konstruksi. Metode ini kurang sensitif terhadap data dibandingkan dengan *Square Linier Regression Method*. Metode ini digunakan untuk menemukan hubungan antara EOIs dan EPIs. Dalam penelitian lebih lanjut, korelasi antara percobaan, *Spectral Method* menggunakan *power spectrum* dan *bispectrum*. *Power spectrum*  $P(f)$  dari sebuah kumpulan data  $x(t)$  digambarkan sebagai berikut:

$$P(f) = |X(f)|^2$$

Dimana  $X(f)$  merupakan transformasi fourier atau input signal

Sementara *Bispectrum Method* menampilkan bahawa hubungan antara tes berbagai frekuensi. Frekuensi dalam kasus ini adalah berbanding terbalik terhadap waktu di mana sampel uji diambil.

$$B(f_1, f_2) = X(f_1)X(f_2)X^*(f_1 + f_2),$$

‘\*’ berarti konjugat kompleks. Hal ini dapat dilihat bahwa *bispectrum* mutlak tergantung pada Transformasi Fourier dari *input signal*. Dengan mempelajari korelasi antara EOIs dan EPIs, efektivitas dari faktor input dan output yang dievaluasi. Ditemukan bahwa regresi linier dan *Spectral Method* merupakan efektif dalam membangun hubungan matematis antara indikator input dan output dalam pengelolaan lingkungan dan hubungan erat antara input dan indikator output dalam memprediksi kinerja lingkungan juga ditemukan. Hal ini juga dapat dinyatakan bahwa regresi linier dan *Spectral Method* efektif untuk membangun hubungan matematis dalam indikator input dan output dalam pengelolaan lingkungan.

3. *Building Waste Assessment Score (BWAS)* dikembangkan oleh Ekanayake and Ofori (2004)

Ekanyake and Ofori (2004) mengembangkan sebuah desain metode penilaian untuk mengidentifikasi potensi sumber limbah konstruksi selama tahap desain awal. Ekanyake dan Ofori telah mengimplementasikan metode ini di Singapura untuk mengatasi permasalahan limbah konstruksi dan produktivitas konstruksi. Metode ini dikembangkan berdasarkan survei dan kuesioner di antara kontraktor di Singapur untuk menentukan tingkat pentingnya dari sumber limbah (*waste sources*). *Building Waste Assessment Score (BWAS)* membantu dalam mengevaluasi desain bangunan untuk memastikan limbah konstruksi dapat dicegah sejak awal. Karena desain merupakan faktor utama yang mengakibatkan adanya limbah. Pada penelitian ini ditemukan ada empat bagian dari 'design', tiga bagian dari 'operation' dan satu bagian dari 'material handling' sebagai sumber limbah.

Sistem penaksiran desain bangunan yang dikembangkan oleh dinas konstruksi bangunan di Singapur telah di modifikasi dan digunakan untuk membangun model BWAS. Model ini direkomendasikan bagi arsitek untuk mempersiapkan desain yang memiliki sedikit potensi limbah. Model Multi-BWAS mempertimbangkan tujuh elemen bangunan. Setiap elemen tersebut memiliki tingkat signifikansi yang berkisar dari 0 sampai 1, dimana 0 berarti tidak signifikan dan 1 berarti paling signifikan. Dan BWAS focus pada material bangunan yang menimbulkan pengaruh di limbah konstruksi. BWAS dirumuskan sebagai berikut:

**BWAS (score)**

$$\begin{aligned} &= 16.1 \left[ \sum (A_1 \times W_{i1}) \right] + 15.6 \left[ \sum (A_2 \times W_{i2}) \right] \\ &+ 15.6 \left[ \sum (A_3 \times W_{i3}) \right] + 15.4 \left[ \sum (A_4 \times W_{i4}) \right] \\ &+ 13.8 \left[ \sum (A_5 \times W_{i5}) \right] + 12 \left[ \sum (A_6 \times W_{i6}) \right], \\ &+ 11.5 \left[ \sum (A_7 \times W_{i7}) \right], \end{aligned}$$

where  $A_1 = A_{1a}/A_{1t}$ ,  $A_2 = A_{2a}/A_{2t}$ ,  $A_3 = A_{3a}/A_{3t}$ ,  $A_4 = A_{4a}/A_{4t}$ ,  
 $A_5 = A_{5a}/A_{5t}$ ,  $A_6 = A_{6a}/A_{6t}$ ,  $A_7 = A_{7a}/A_{7t}$

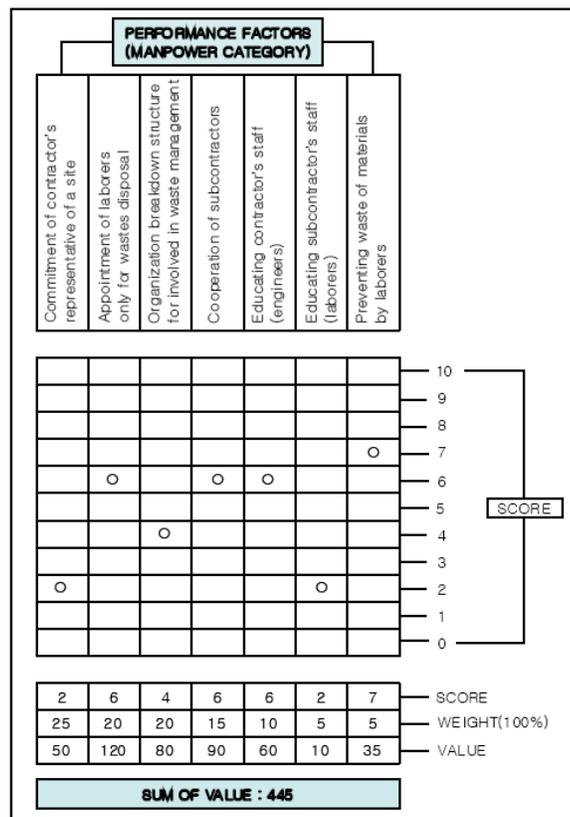
Setiap elemen dari kriteria penilaian diberi bobot. Kriteria penilaian ditemukan bahwa bangunan dengan sebagian besar elemen bangunan prefabrikasi kemungkinan akan menghasilkan skor BWAS yang lebih baik. Model BWAS dapat menghitung skor limbah bangunan yang dapat mewakili potensi limbah konstruksi yang melekat pada desain bangunan tertentu. Artinya bahwa BWAS membantu arsitek memberikan desain yang paling layak dalam hal meminimalisir limbah konstruksi. *Building and Construction Authority (BCA)* dapat mempengaruhi progres industri terhadap meminimalisir limbah dengan mempublikasikan model BWAS dan menggunakannya untuk mengedukasi owner dan arsitek

4. *Waste Management Performance Evaluation Tool (WMPET)* dikembangkan oleh Kim dkk. (2006)

Kim et al. (2006) mengembangkan beberapa alat untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempunyai pengaruh dalam pengelolaan kinerja limbah. Ada 59 faktor yang diklasifikasikan ke dalam 5 faktor utama, yang meliputi: tenaga kerja, bahan, metode, manajemen dan kebijakan. Alat ini didasarkan pada survei kuesioner diantara kontraktor Korea.

Kim et al. (2006) menggunakan rata-rata nilai disetiap faktor bahwa responden telah bersedia. Cara menghitung skor tersebut adalah pertama, menganalisis data dan kemudian mengikuti dengan mengatur tingkat faktor, maka faktor yang mendapatkan nilai rata-rata kurang dari 6,5 dikeluarkan dari item alat yang mengevaluasi efektivitas pengelolaan kinerja limbah. Berdasarkan analisa data, ditemukan bahwa 7 faktor dalam kategori tenaga kerja, 8 dari 9 dalam kategori material, 9 dari 13 dalam kategori metode, 6 dari 16 dalam kategori manajemen, 9 dari 14 dalam kategori kebijakan yang dikenal sebagai titik penting dalam mengurangi limbah konstruksi dan meningkatkan daur ulang.

Efektivitas pengelolaan pemanfaatan limbah dapat dievaluasi dengan cara berikut (Gambar 2). Sementara itu, matriks penilaian disajikan pada Gambar 3 di bawah



**Gambar 2.** WMPET Interface (Source: Kim et al., 2006)

| Index Range | Rating    | Description   |
|-------------|-----------|---|
| 801-1000    | Excellent | Waste management performance in this site is very effective in decreasing wastes and increasing recycling. Please keep attention to waste management.   |
| 601-800     | Good      | Waste management performance in this site is a little effective in decreasing wastes and increasing recycling. If you concern about weak part such as (○○○ weak categories and factors), the effectiveness will be maximized. |
| 401-600     | Poor      | Waste management performance in this site is ineffective in decreasing wastes and increasing recycling. Please perform factors effective such as (○○○ categories and factors having strong influence)                         |
| 0-400       | Bad       | Waste management performance in this site is very ineffective in decreasing wastes and increasing recycling. Please establish or correct waste management plan of your site with referring to this tool.                      |

**Gambar 3.** WMPET Scoring Range (Source: Kim et al., 2006)

5. Metode yang disarankan oleh Gangolells et al. (2009)

Gangolells dkk. (2009) mengembangkan suatu metodologi yang berfungsi sebagai alat penilaian untuk proyek konstruksi untuk mengukur kinerja lingkungan dari kegiatan konstruksi. Hal ini juga menyediakan secara konsisten untuk perbandingan tolak ukur lingkungan antara perusahaan konstruksi dan lokasi konstruksi. Didalam metodologi ini ada sembilan kategori aspek lingkungan yang diusulkan: 1. Emisi atmosfer; 2. Emisi air; 3. Limbah yang dihasilkan; 4. Perubahan tanah; 5. Konsumsi sumber daya; 6. Isu-isu lokal, 7. Masalah transportasi; 8. Efek terhadap keanekaragaman hayati; dan 9. Insiden, kecelakaan dan situasi darurat. Penelitian ini difokuskan pada identifikasi aspek lingkungan yang berkaitan dengan kegiatan konstruksi, aspek penilaian lingkungan (indikator pembangunan, membangun batasan yang signifikan; menentukan dampak lingkungan dari semua proyek konstruksi) di sekitar negara Spanyol

Banyak kerugian dalam aspek lingkungan di setiap bangunan mempunyai korelasi antara besarnya dari proyek dan toksisitas yang terkandung dalam bahan dan dampak yang terjadi. Untuk menghitung semua dampak lingkungan dalam konstruksi tertentu Gangolells dkk menggunakan rumus berikut:

$$SG_i = D_i S_i P_i$$

Dimana  $SG_i$  adalah semua penilaian dampak lingkungan dengan kategorisasi: 0 (tidak ada), 1 (lebih pendek dari durasi konstruksi), 2 (sama dengan durasi) atau 3 (lebih lama dari durasi).  $S_i$  menunjukkan skala dampak, dari 0 (tidak ada), 1 (lokasi dan sekitarnya), 2 (lokal dan regional) sampai 3 (dari wilayah). Akhirnya,  $P_i$  menunjukkan kemungkinan dampaknya, menunjukkan dari 0 (tidak mungkin), 1 (sangat tidak mungkin), 2 (mungkin) atau 3 (sangat mungkin).

Sedangkan untuk menentukan dampak lingkungan menggunakan rumus berikut:

$$R = \sum_{i=1}^n SV_i$$

Dimana R adalah Peringkat yang signifikan dalam proyek konstruksi dan  $SV_i$  adalah kerusakan serius dari lingkungan.

### **Kesimpulan dan Rekomendasi**

C-EPSS diusulkan oleh Shen dkk (2005) menyediakan *software* komputerisasi dalam evaluasi kinerja lingkungan dari kontraktor selama tahap operasional proyek saja. C-EPSS mempertimbangkan lima klasifikasi kriteria dalam penilaian. Sementara, *Environmental Performance Assessment* (EPA) yang disarankan oleh Tam and Le (2007) memberikan metode yang menghubungkan faktor input di tingkat operasional dan faktor output dari kinerja lingkungan. Metode ini dimaksudkan untuk mengoptimalkan Sistem Manajemen Lingkungan dengan mengidentifikasi daftar parameter sebagai kriteria evaluasi. EPA menyediakan indikator yang ekstensif daripada C-EPSS, Waste Management Performance Evaluation Tool (WMPET) yang disarankan oleh Kim dkk (2006) alat yang dirancang untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memiliki pengaruh dalam pengelolaan kinerja limbah selama tahap operasional konstruksi. Ada 59 faktor yang diklasifikasikan ke dalam 5 faktor utama. Namun, metodologi ini hanya terbatas pada *waste generation* saja.

Sementara itu, Ekanyake dan Ofori (2004) mengembangkan BWAS merupakan sebuah desain yang berdasarkan pada alat penilaian untuk mengidentifikasi sumber potensi limbah konstruksi pada tahap awal desain. Namun, metodologi ini hanya terbatas pada evaluasi sumber yang akan menghasilkan limbah konstruksi. Metode ini akan mengatasi masalah limbah sejak pra-konstruksi. Tidak ada dampak lingkungan dan polusi lainnya dianggap dalam metode penilaian ini. Metode yang disarankan oleh Gangolells dkk. (2009) berfungsi sebagai alat penilaian untuk proyek konstruksi untuk mengukur kinerja lingkungan dari kegiatan konstruksi sebelum tahap operasional. Alat ini juga menyediakan secara konsisten untuk perbandingan tolak ukur lingkungan antara perusahaan konstruksi dan lokasi konstruksi. Didalam metodologi, sembilan kategori aspek lingkungan telah dipertimbangkan. Ini adalah metode, yang paling baru yang komprehensif dan terpadu yang mencakup berbagai aspek lingkungan, dari limbah, polusi, konsumsi sumber daya, dan bahkan dampak sosial.

Dari reviews ini dijelaskan bahwa metode yang diusulkan oleh Gangolells dkk. (2009) menyediakan alat kinerja lingkungan paling komprehensif untuk industri konstruksi. Alat ini akan diaplikasikan selama tahap mendesain untuk menilai kekuatan desain bangunan. Masalah mengidentifikasi akan ditangani dalam efek langsung pada tahap awal. Namun, beberapa kombinasi dari alat penilaian lingkungan untuk tahap desain dan tahap operasional kemungkinan akan menghasilkan hasil yang lebih besar dan efektif, seperti halnya metode Gangolells dan metode EPA (Tam dan Le, 2007) yang jauh akan lebih baik bila dikolaborasikan

## Referensi

- Bossink, B.A.G., and Brouwers, H.J.H. (1996). Construction waste: quantification and source evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, March 1996.
- Poon, C.S., Yu, T.W., Ng, L.H. (2001b). *A guide for managing and minimizing building and demolition waste*. Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University Publishing, May 2001.
- Ofori, G., Ekanayake, L.L. (2004). Building Waste Assessment Score: Design-Based Tool. *Building and Environment* **39** (2004) 851-861.
- Shen, L.Y., Lu, W.S., Yao, H., Wu, D.H (2005). A computer-based scoring method for measuring the environmental performance of construction activities. *Automation in Construction* **14** (2005) 297– 309.
- Kim, J.H., Kim, J.M., Cha, H.S., Shin, D.W. (2006) Development Of The Construction Waste Management Performance Evaluation Tool. *ISARC 2006*.
- Firmawan, F. (2006). Analisis Berbagai Variabel Penyebab Terjadinya Penyimpangan Biaya Material Terhadap *Indicator Material Cost Overrun* Paling Berpengaruh. *Jurnal Pondasi Vol. 12 No. 2 Desember 2006, hal.112-126*.
- Koroneos, C. and Dompros, A. (2007) Environmental Assessment of Brick Production in Greece (2007). *Building and Environment* **42** (2007) 2114–2123.
- Tam, V.W.Y. and Le, K.N. (2007). Assessing Environmental Performance in the Construction Industry. *Surveying and Built Environment Vol 18 (2), 59-72*.
- Rao, A., Kumar, N. Jha and Misra, S.(2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling, Volume 50, Issue 1, pp. 71-81(March 2007)*.
- Gangoells, M., Casals, A., Gasso, S., Forcada, N., Roca, X., Fuertes, A. (2009). A Methodology For Predicting The Severity Of Environmental Impacts Related To The Construction Process Of Residential Buildings. *Building and Environment* **44** (2009) 558– 571.
- Masudi, A.F., Che Hassan, C.R., Mahmood, N.Z., Mokhtar, S.N. and Sulaiman, N.M.(2011) Construction Waste Quantification and Benchmarking: A Study in Klang Valley, Malaysia. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering, Vol. 5, No.10, October 2011, pp 909-916*.