

KAJIAN ASPEK KEBERLANJUTAN MATERIAL KONSTRUKSI JEMBATAN SELAT SUNDA

Wulfram I. Ervianto¹, Biemo W. Soemardi², Muhamad Abduh³, dan Surjamanto⁴

¹ Kandidat Doktor Teknik Sipil, KK Manajemen dan Rekayasa Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, email: ervianto@mail.uajy.ac.id

² Staf Pengajar KK Manajemen dan Rekayasa Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, email: b_soemardi@si.itb.ac.id

³ Staf Pengajar KK Manajemen dan Rekayasa Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, email: abduh@si.itb.ac.id

⁴ Staf Pengajar Program Studi Arsitektur, Sekolah Arsitektur, Institut Teknologi Bandung, email: titus@ar.itb.ac.id

ABSTRAK

Konsep pembangunan berkelanjutan mencakup tiga pilar utama yang saling terkait yaitu pembangunan ekonomi, pembangunan sosial dan pelestarian lingkungan hidup. Dalam KTT Bumi disepakati pola pembangunan baru yang diterapkan secara global yang disebut dengan Environmentally Sound and Sustainable Development (ESSD), di Indonesia dikenal dengan Pembangunan Berkelanjutan yang Berwawasan Lingkungan (PBBL). Tujuannya tidak lain adalah untuk melestarikan alam agar tetap layak untuk tinggal bagi generasi mendatang. Turunan dari PBBL adalah konstruksi berkelanjutan yang bertujuan melakukan penghematan bahan dan pengurangan limbah serta kemudahan pemeliharaan bangunan pasca konstruksi. Berdasarkan data runtun statistik konstruksi tahun 1990 sampai dengan 2010 nilai konstruksi cenderung mengalami peningkatan, yang berarti bahwa pemakaian sumberdaya alam akan semakin tinggi dan jumlah limbah konstruksi yang dibuang ke lingkungan semakin besar. Jika pembangunan tidak dikelola dengan baik maka akan berakibat terjadinya bencana lingkungan di masa mendatang. Tujuan dari kajian ini adalah untuk mengkaji cara-cara pembangunan yang ramah lingkungan, lebih difokuskan pada aspek material konstruksi yang berkelanjutan. Kajian dilakukan pada rencana pembangunan jembatan Selat Sunda. Hasil dari kajian diperoleh bahwa emisi yang ditimbulkan oleh material konstruksi sebesar 1.972.613 ton CO₂ ekuivalen. Selain itu perlu perhatian pada saat umur kelayakan berakhir maka akan menimbulkan limbah dalam jumlah sangat besar sehingga perlu waste management plan.

Kata kunci: Keberlanjutan; Material; Jembatan Selat Sunda.

I. PENDAHULUAN

Pembangunan yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat tidak terhindarkan dari pemanfaatan sumberdaya alam, namun eksploitasi yang tidak memperhatikan kemampuan dan daya dukung lingkungan dapat berakibat pada merosotnya kualitas lingkungan. Fakta menunjukkan bahwa dari tahun ke tahun kualitas lingkungan cenderung mengalami penurunan yang ditandai oleh berbagai fenomena alam, salah satunya adalah meningkatnya suhu Bumi. Hal ini menjadi keprihatinan bersama di berbagai negara mengingat dampak yang akan ditimbulkannya. Tindakan nyata yang dilakukan oleh banyak negara adalah diadakannya Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) Bumi pada tahun 1992. Dalam KTT tersebut digagas untuk mengubah paradigma pembangunan dengan memperkenalkan konsep pembangunan berkelanjutan.

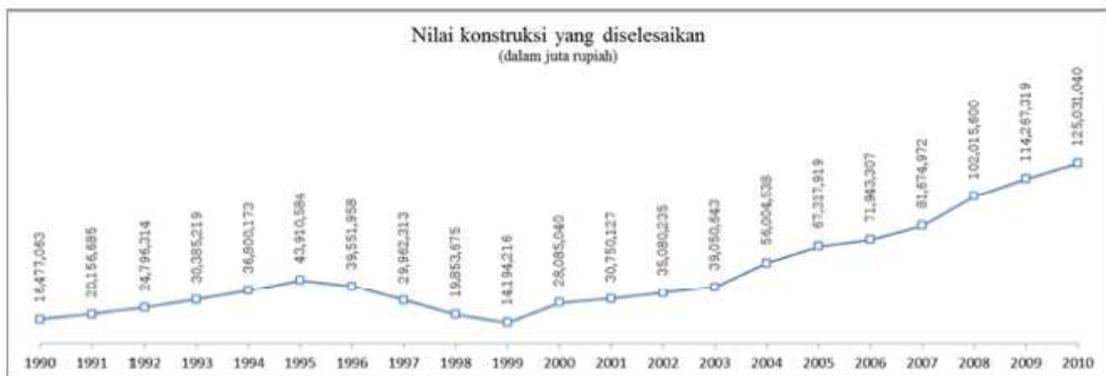
Konsep pembangunan berkelanjutan mencakup tiga pilar utama yang saling terkait dan saling menunjang yakni pembangunan ekonomi, pembangunan sosial dan pelestarian lingkungan hidup (KTT Bumi, 1992). Dalam pertemuan tersebut disepakati pola pembangunan baru yang diterapkan secara global yang disebut dengan *Environmentally Sound and Sustainable Development (ESSD)*, di Indonesia

dikenal dengan Pembangunan Berkelanjutan yang Berwawasan Lingkungan (PBBL) yang didefinisikan sebagai pembangunan untuk memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya. Salah satu turunan dari PBBL adalah dokumen konstruksi Indonesia 2030.

Dalam dokumen Konstruksi Indonesia 2030, dinyatakan bahwa konstruksi Indonesia mesti berorientasi untuk tidak menyumbangkan terhadap kerusakan lingkungan namun justru menjadi pelopor perbaikan dan peningkatan kualitas lingkungan. Salah satu agenda yang diusulkan adalah melakukan promosi sustainable construction untuk penghematan bahan dan pengurangan limbah (bahan sisa) serta kemudahan pemeliharaan bangunan pasca konstruksi (LPJKN, 2007). Council International du Batument, (1994) menyatakan bahwa tujuan sustainable construction adalah menciptakan bangunan berdasarkan disain yang memperhatikan ekologi, menggunakan sumberdaya alam secara efisien, dan ramah lingkungan selama operasional bangunan. Du Plessis (2002) menyatakan bahwa bagian dari *sustainable construction* adalah *green construction* yang merupakan proses holistik yang bertujuan untuk mengembalikan dan menjaga keseimbangan antara lingkungan alami dan buatan. USEPA (2010) mendefinisikan green construction merupakan praktik membangun dengan menerapkan proses yang memperhatikan lingkungan dan efisiensi sumber daya sepanjang siklus hidup bangunan dari tapak untuk perencanaan, konstruksi, operasi, pemeliharaan, renovasi, dan dekonstruksi.

II. TUJUAN KAJIAN

Berdasarkan data runtun Statistik Konstruksi tahun 1990-2010, nilai konstruksi cenderung mengalami peningkatan, kecuali pada tahun 1995 sampai dengan 1999 (gambar 1). Hal ini berarti bahwa: (a) dengan bertambahnya jumlah infrastruktur maka cadangan sumberdaya alam akan berkurang dan jumlah limbah sebagai hasil proses konstruksi meningkat; (b) meningkatnya jumlah limbah maka beban lingkungan akan semakin besar. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian yang lebih komprehensif untuk menemukan cara-cara pembangunan yang ramah lingkungan. Selanjutnya kajian difokuskan pada aspek material konstruksi yang berkelanjutan dan pengaruhnya terhadap lingkungan berupa emisi.



(<http://dds.bps.go.id/diunduh> 14 Mei 2012)

Gambar 1. Nilai konstruksi yang diselesaikan

KONSTRUKSI BERKELANJUTAN

Konstruksi berkelanjutan dapat dicapai melalui hal-hal sebagai berikut: melakukan perubahan perencanaan, perencanaan dengan meminimalkan limbah,

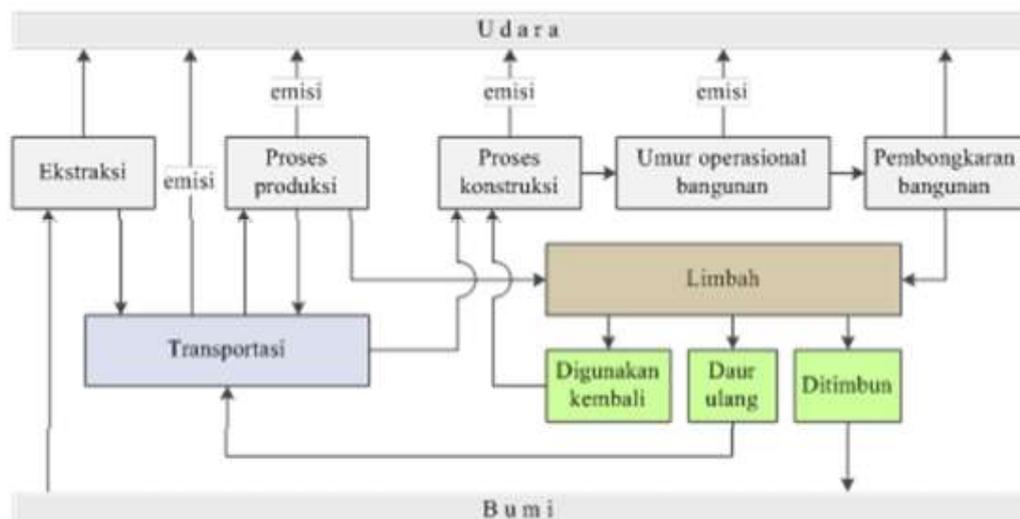
menerapkan *lean construction*, meminimalkan penggunaan energi dalam proses konstruksi, tidak menimbulkan polusi, melindungi dan meningkatkan keanekaragaman hayati, konservasi sumberdaya air, menghargai manusia dan lingkungan lokal (Corus, 2006).

- **Material Konstruksi Berkelanjutan**

Aspek penting dalam konsep keberlanjutan adalah menjaga eksistensi material agar tetap tersedia di Bumi pada masa mendatang. Sebagian besar material konstruksi bersumber dari alam, jika pemanfaatannya tidak dilakukan secara bertanggung jawab maka kemungkinan besar akan habis dalam waktu singkat. Pada saat ini, perkembangan teknologi material konstruksi berkembang sangat cepat. Perubahan yang signifikan adalah menerapkan konsep *reuse terhadap komponen/material bangunan dan recycle terhadap limbah konstruksi dan* bongkaran bangunan (Augenbroe dan Pearce, 1998). Siklus hidup material bangunan mulai dari pengambilan dari Bumi sampai dibuang kembali ke Bumi (gambar 2). Beberapa hal penting dalam pemakaian material bangunan untuk menjaga keberlanjutannya adalah: ketersediaan material di alam, polusi yang ditimbulkan oleh proses produksi, penggunaan material daur ulang, konsumsi energi selama proses transportasi, potensi pengurangan limbah, penggunaan material alami

- **Faktor-Faktor Keberlanjutan**

Kategori faktor-faktor dalam konsep keberlanjutan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (Bakhoum dan Brown, 2012): (a) faktor yang terkait dengan perencanaan komponen struktur (perubahan iklim, polusi udara dan air, limbah padat, penggunaan sumberdaya, dan biaya siklus hidup), (b) faktor yang terkait dengan kepemilikan (potensi daur ulang, pembangunan ekonomi daerah, kesehatan dan keselamatan manusia, kepuasan manusia, kepraktisan). Faktor-faktor keberlanjutan tersebut diatas yang terkait dengan aspek lingkungan adalah: perubahan iklim, polusi udara dan air, limbah padat, penggunaan sumberdaya, potensi daur ulang, kesehatan dan keselamatan manusia.



Sumber: Bakhoum dan Brown, 2012

Gambar 2. Siklus hidup material konstruksi

Perubahan Iklim. Fenomena global warming dan efek gas rumah kaca menjadi topik yang banyak diangkat dalam berbagai forum ilmiah di skala lokal maupun global. Walton dkk. dalam Arif dkk., 1998 menyatakan bahwa isu lingkungan yang semula kurang diperhatikan dalam pengelolaan proyek kini menjadi agenda utama dalam pertemuan para eksekutif. Para pimpinan negara mengadakan pertemuan di tingkat dunia untuk membicarakan fenomena global warming dan efek gas rumah kaca terutama pengaruhnya terhadap kelangsungan kehidupan manusia di Bumi. Salah satu indikator bahwa bumi telah mengalami krisis adalah tingginya konsentrasi karbondioksida (CO₂) di udara yang bersifat menghalangi pelepasan panas matahari dari bumi (Salim, 2010). Meningkatnya konsentrasi CO₂ secara drastis disebabkan oleh perubahan dalam proses produksi yang semula dilakukan secara konvensional menjadi produksi massal (pabrikasi). Perubahan ini diikuti dengan penggunaan energi yang lebih besar bila dibandingkan dengan proses produksi secara konvensional yang terjadi sebelum revolusi industri.

Polusi Udara dan Air. Pencemaran udara dihasilkan dari proses ekstraksi, produksi, proses konstruksi, operasional bangunan, pembongkaran bangunan. Pencemaran udara dapat ditimbulkan oleh sumber-sumber alami seperti kebakaran hutan maupun kegiatan manusia seperti transportasi, industri, pembangkit listrik, gas buang pabrik yang menghasilkan gas berbahaya seperti CFC. Pencemaran air dapat disebabkan oleh: (a) buangan organik berupa limbah yang dapat membusuk/terdegradasi oleh mikroorganisma, (b) anorganik berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisma, dan (c) buangan kimia berupa sabun, insektisida, zat warna kimia, zat radioaktif dan lain sebagainya.

Limbah Padat. Jumlah dan jenis material yang digunakan dalam proyek konstruksi secara agregasi menimbulkan limbah dalam jumlah yang besar. Tingginya limbah padat yang dihasilkan dari industri konstruksi secara keseluruhan sangat berpengaruh terhadap lingkungan.

Penggunaan Sumberdaya. Sektor konstruksi mengkonsumsi 50% sumberdaya alam, 40% energi, dan 16% air. Mengingat besarnya konsumsi sumberdaya alam dalam aktivitas konstruksi maka diperlukan perencanaan yang baik dalam pengelolaan penggunaannya agar keberlanjutannya tetap dapat diperhatikan. Sektor konstruksi yang terdiri dari tahap ekstraksi material, pengangkutan material ke lokasi proyek konstruksi, proses konstruksi, operasional gedung, pemeliharaan gedung sampai tahap pembongkaran gedung mengkonsumsi 50% dari seluruh pengambilan material alam dan mengeluarkan limbah sebesar 50% dari seluruh limbah.

Potensi Daur Ulang. Sedangkan untuk menjaga keberlanjutan sumberdaya alam tidak terbarukan dapat dilakukan dengan cara memperpanjang daur hidupnya. Daur hidup material dimulai dari tahap eksploitasi produk, tahap pengolahan dan produksi, perencanaan dan penerapan secara efisien (reduce), memperpanjang masa pemakaian produk material melalui upaya penggunaan kembali (reuse) dan proses daur ulang (recycle). Dengan menjaga keberlanjutan alam melalui pengelolaan daur hidup material yang lebih baik, diharapkan membawa kondisi seimbang

dalam pembangunan dan pelestarian alam. Setiap pemakaian material hendaknya selalu memperhatikan jejak ekologis dan jejak karbon. Salah satu opsi untuk meminimalkan jejak karbon adalah menggunakan material lokal (Ervianto, W. I., 2012).

Kesehatan Dan Keselamatan Manusia. Kesehatan dan keselamatan manusia selama pelaksanaan proyek konstruksi merupakan bagian penting yang harus mendapatkan perhatian. Demikian juga kesehatan dan keselamatan pengguna bangunan pasca konstruksi tetap harus mendapatkan perhatian bagi konsultan perencana.

MATERIAL JEMBATAN BENTANG PANJANG

Berbagai tipe jembatan yang telah digunakan dalam jembatan lintas laut adalah *Suspension Bridges* dan *Cable Stayed Bridges*. *Ilustrasi dari penggunaan tipe jembatan ini diperlihatkan dalam tabel 1 dan 2.*

Tabel 1. Tipe jembatan Suspension Bridges

| SUSPENSION BRIDGES (OCEAN CROSSING) | | | | | | |  | | | | Waktu konstruksi |
|--|-------------|----------------|------------|-----------------|------------------|------------------|--|---------|---------|-------|------------------|
| Nama | No di dunia | Bentang | | | Tinggi Pylon (m) | Jumlah lajur (m) | Kedalaman (m) | | | | |
| | | Ujung kiri (m) | Tengah (m) | Ujung kanan (m) | | | 1A | 2P | 3P | 4A | |
| Akashi Kaikyo Japan | 1 | 960 | 1.991 | 960 | 298,3 | 6 | darat | -30 | -45 | darat | 1988-1998 |
| Great belt Denmark | 3 | 535 | 1.624 | 535 | 254 | 6 | -10 | -20 | -20 | -10 | 1991-1998 |
| Tsing Ma Hongkong | 7 | 455 | 1.377 | 300 | 206 | 6 | darat | darat | darat | darat | 1992-1997 |
| Minami Bisan Seto Japan | 14 | 274 | 1100 | 274 | 200 | 4 | darat | dangkal | dangkal | darat | 1978-1988 |

Catatan: diolah dari berbagai sumber

Tabel 2. Tipe jembatan Cable Stayed Bridges

| CABLE STAYED BRIDGES (OCEAN CROSSING) | | | | | |  | | Waktu konstruksi |
|--|-------------|--------------------|-----------|------------------|------------------|---|-------|------------------|
| Nama | No di dunia | Bentang tengah (m) | Lebar (m) | Tinggi Pylon (m) | Jumlah lajur (m) | Kedalaman (m) | | |
| | | | | | | 1P | 2P | |
| Sutong China | 1 | 1.088 | 41 | 306 | 6 | 16 | 30 | 2003-2008 |
| Stone Cutter Hongkong | 2 | 1.016 | 2x18,5 | 298 | 6 | darat | darat | 2004-2009 |
| Tatara Japan | 4 | 890 | 306 | 220 | 4 | -24 | -3 | 1992-1999 |
| Incheon Korea | 7 | 800 | 33,4 | 238,5 | 6 | -40 | -40 | 2005-2009 |
| Rion Antirion Greece | 19 | 560 | 27,2 | 164 | 6 | -60 | -60 | 1998-2004 |
| Oresund Denmark | 29 | 490 | 23,5 | 203,5 | 4 | -10 | -10 | 1995-1999 |

Catatan: diolah dari berbagai sumber

Berdasarkan Tabel 1, tipe jembatan Suspension Bridges telah digunakan di Akashi Kaikyo Japan. Jembatan ini mempunyai 6 lajur dengan kedalaman pondasi 45 meter, bentang tengah 1.991 meter, bentang kiri dan kanan 906 meter dan tinggi

pylon 298,3 meter. Waktu konstruksi yang dibutuhkan selama ± 10 tahun (~ 192 meter panjang/tahun). Untuk tipe jembatan Cable Stayed Bridges (Tabel 2) di jembatan Sutong China dengan 6 lajur, bentang tengah 1.088 meter, tinggi pylon 306 meter, waktu konstruksi ± 5 tahun (~ 217 meter panjang/tahun). Angka ini tentu tidak dapat digunakan sebagai pedoman dalam pembangunan tipe jembatan sejenis, namun dapat memberikan informasi mengenai waktu konstruksi untuk jembatan tipe Suspension Bridges dan Cable Stayed Bridges.

Tabel 3. Perkiraan Bill of Quantity konstruksi jembatan gantung ultra panjang

| No | Komponen jembatan | Satuan | Volume |
|----|---|----------------|-----------|
| 1 | Steel Pilon | ton | 139.800 |
| 2 | Main Cable | ton | 176.864 |
| 3 | Hanger | ton | 8.810 |
| 4 | Steel Box Girder | ton | 145.920 |
| 5 | Structural Part of Caisson for Pilon | m ³ | 1.925.316 |
| 6 | Lean Concrete of Caisson for Pilon | m ³ | 1.005.092 |
| 7 | Anchor Block | m ³ | 462.488 |
| 8 | Structural Part of Caisson for Anchor Block | m ³ | 1.274.597 |
| 9 | Lean Concrete of Caisson for Anchor Block | m ³ | 951.003 |
| 10 | Pavement, Drainage, etc | m ² | 430.160 |
| 11 | SHMS | unit | 2 |

Sumber: Dardak, H., 2012

Tabel 4. Perkiraan Bill of Quantity dan rencana konstruksi *viaduck* beton

| No | Komponen jembatan | Satuan | Volume |
|----|---------------------------|----------------|-----------|
| 1 | Concrete Box Girder | m ³ | 1.033.560 |
| 2 | Concrete Deck | m ³ | 43.656 |
| 3 | Pier | m ³ | 219.959 |
| 4 | Capping Beam | m ³ | 187.715 |
| 5 | Pile Cap | m ³ | 588.861 |
| 6 | Bored Pile diameter 2,4 m | m' | 248.977 |
| 7 | Pavement, Drainage, etc | m ² | 1.002.520 |

Sumber: Dardak, H., 2012

RENCANA JEMBATAN SELAT SUNDA

Jembatan Selat Sunda (JSS) menghubungkan Propinsi Lampung di Pulau Sumatera dengan Propinsi Banten di Pulau Jawa sepanjang ± 29 km dapat direncanakan menjadi dua rute, yaitu: rute utara menghubungkan Merak dan Ketapang dan rute selatan menghubungkan Anyer dan Ketapang. Tipe jembatan yang mungkin dipakai pada proyek JSS adalah: *Suspension Bridges*, *Cable Stayed Bridges*, *Truss Bridges* dan *Box Culvert Bridges* (Konstruksi edisi Mei, 2011).

- **Rencana Struktur Jembatan Selat Sunda**

JSS merupakan rangkaian jembatan yang panjang dan lebar sehingga dibutuhkan beberapa segmen jembatan dengan bentang panjang, struktur pylon yang tinggi, dan struktur pondasi yang dalam dan masif, dan beberapa segmen jembatan berada di laut dalam. Bentang jembatan terpanjang pada rangkaian JSS direncanakan berupa jembatan suspension yang terdiri atas bentang tepi seluas 2 x 800 meter, bentang tengah 2.200 meter, dan lebar jembatan sepanjang 60 m.

Jembatan ini dirancang akan memiliki fungsi sebagai jalur lalu lintas selebar 2 x 3 meter, jalur darurat 2 x 1 meter, dan jalur lintasan ganda kereta rel. Selain itu, JSS juga mengakomodasikan jalur utilitas seperti jalur pipa gas, pipa minyak, kabel fiber optik, kabel listrik dan lain-lain. JSS direncanakan minimal mempunyai umur kelayakan 150 tahun (dikutip dari Imran, I., 2011 melalui situs <http://bisnis.vivanews.com>).

- **Prakiraan Material Jembatan Selat Sunda**

Tinjauan terhadap jenis dan jumlah material didasarkan pada perkiraan secara global, hal ini disebabkan karena belum adanya disain JSS sehingga bill of quantity belum dapat ditentukan. Kebutuhan jenis material untuk pembangunan JSS antara lain adalah: beton bertulang, baja struktur, kawat baja, tendon prategang, semua material yang digunakan dipersyaratkan harus bermutu tinggi. Kebutuhan minimum material beton per kilometer jembatan adalah: volume beton 50.000 m³, semen 25.000 ton, agregat kasar 50.000 ton, agregat halus 40.000 ton (<http://bisnis.vivanews.com>). Jika panjang jembatan diperkirakan 29 km maka kebutuhan material total adalah: volume beton 1.450.000 m³, semen 725.000 ton, agregat kasar 1.450.000 ton, agregat halus 1.160.000 ton. Sedangkan kebutuhan baja adalah ± 472.000 ton. Terkait dengan material konstruksi berkelanjutan, hal-hal yang perlu dipertimbangkan seperti gambar 2.

TAKSIRAN EMISI DALAM SIKLUS HIDUP MATERIAL

Emisi Akibat Ekstraksi. Proses menambang agregat halus dan kasar di quarry membutuhkan peralatan (misalnya excavator). Semakin dalam lubang galian di pertambangan maka produktivitas peralatan cenderung menurun yang berakibat pada semakin lama waktu kerja excavator. Dengan bertambahnya waktu operasi excavator akan berakibat pada meningkatnya emisi yang ditimbulkan oleh bahan bakar peralatan tersebut.

Tabel 5. Faktor emisi bahan bakar minyak

| Input Proses | lb CO ₂ /gal | Kg CO ₂ /liter | Keterangan |
|----------------|-------------------------|---------------------------|--|
| Motor Gasoline | 19.37 | 2.32 | 1 pound = 453.59 gram; 1 gal = 3.785 liter. |
| Diesel Fuel | 22.23 | 2.66 | |
| LPG (HD-5) | 12.7 | 1.52 | |

United States Environmental Protection Agency (2004):
Unit Conversions, Emissions Factors, and Other Reference Data

Tabel 6. Emisi Yang Ditimbulkan Oleh Proses Ekstraksi

| No. | Jenis material | Volume (ton) | Faktor konversi (kg CO ₂ /ton) | Emisi CO ₂ ekuivalen (ton). |
|-------|----------------|--------------|---|--|
| 1 | Agregat kasar | 1.450.000 | 12,2 | 17.690 |
| 2 | Agregat halus | 1.160.000 | 12,2 | 14.152 |
| Total | | | | 31.842 |

Emisi Akibat Produksi. Proses mengubah bahan baku menjadi bahan setengah jadi atau bahan jadi membutuhkan sejumlah energi tertentu. Besar kecilnya energi yang dibutuhkan bergantung pada tingkat kompleksitas proses produksi yang harus dilalui. Semakin kompleks prosesnya maka semakin besar konsumsinya

yang berakibat pada meningkatnya emisi yang ditakar dalam CO₂ ekuivalen. Emisi yang ditimbulkan untuk memproduksi satu ton semen berbeda dengan satu ton baja.

Tabel 7. Emisi CO₂ ekuivalen yang ditimbulkan proses produksi

| No. | Jenis material | Volume (ton) | Faktor konversi (kg CO ₂ /ton) | Emisi CO ₂ ekuivalen (ton). |
|-------|----------------|--------------|---|--|
| 1 | Semen | 725.000 | 1.000 | 725.000 |
| 2 | Baja | 472.000 | 2.400 | 1.132.800 |
| Total | | | | 1.857.800 |

Emisi Akibat Transportasi. Emisi yang ditimbulkan oleh proses transportasi berbagai jenis material tergantung pada jarak antara sumber pengambilan material dengan lokasi proyek. Sumber pengambilan berbagai jenis material adalah sebagai berikut:

Tabel 8. Emisi CO₂ ekuivalen yang ditimbulkan oleh proses transportasi

| No. | Jenis material | Volume (ton) | Total jarak (km) | Faktor konversi (kg CO ₂ /liter) | Emisi CO ₂ ekuivalen (ton) |
|-------|----------------|--------------|------------------|---|---------------------------------------|
| 1 | Baja | 472.000 | 2.360.000 | 2,66 | 627,76 |
| 2 | Semen | 725.000 | 161.312.500 | 2,66 | 42.909,13 |
| 3 | Agregat halus | 1.160.000 | 65.888.284 | 2,66 | 17.526,28 |
| 4 | Agregat kasar | 1.450.000 | 82.360.284 | 2,66 | 21.907,84 |
| Total | | | | | 82.971,00 |

Tabel 9. Jarak sumber material terhadap lokasi proyek

| Jarak sumber material ke lokasi proyek di Ketapang (km) | Agregat halus | Agregat kasar | Baja | Semen |
|---|---------------|---------------|------|-------|
| Pasir Sakti, Lampung Timur | 28 | 28 | | |
| Labuhan Maringgai, Lampung Timur | 53 | 53 | | |
| Gunung Sugih, Lampung Tengah | 142 | 142 | | |
| Pabrik baja, Serang-Banten | | | 40 | |
| Pabrik semen, Sumatera Barat | | | | 1.200 |

| Jarak sumber material ke lokasi proyek di Merak (km) | Agregat halus | Agregat kasar | Baja | Semen |
|--|---------------|---------------|------|-------|
| Pulo Panjang, Banten | 22 | 22 | | |
| Pabrik semen, Jawa Timur | | | | 890 |
| Pabrik baja, Serang-Banten | | | 10 | |

Emisi Proses Konstruksi. Proses konstruksi adalah tahap menyatukan berbagai sumberdaya dalam ruang dan waktu yang sama untuk menghasilkan suatu bangunan. Proses konstruksi punya peran dalam menciptakan value terhadap lingkungan yang disebut dengan green construction, salah satu aspeknya adalah konservasi energi. Penggunaan energi untuk berbagai jenis peralatan pendukung inilah yang menimbulkan emisi selama proses konstruksi. Taksiran emisi yang ditimbulkan oleh peralatan dihitung sejak mobilisasi, operasional, dan demobilisasi. Berhubung penentuan jenis dan kapasitas alat belum dapat ditentukan maka dalam paper ini taksiran emisi diabaikan.

Emisi Operasional Bangunan. Proses operasional bangunan dapat dibedakan menjadi tahap pemanfaatan bangunan dan tahap perawatan. Emisi ditimbulkan oleh energi yang digunakan untuk mendukung bangunan beroperasi dan aktivitas perawatan bangunan sesuai dengan umur kelayakan bangunan (± 150 tahun). Taksiran emisi yang ditimbulkan belum dapat diprediksikan secara pasti.

Emisi Pembongkaran Bangunan. Proses pembongkaran bangunan setelah habis masa pakainya tentu membutuhkan peralatan berat dan pasti berpotensi menimbulkan emisi. Taksiran emisi yang ditimbulkan sulit untuk diprediksikan mengingat sampai dengan saat ini belum ada informasi mengenai produktivitas pembongkaran bangunan terlebih untuk jembatan bentang panjang.

Taksiran Emisi Total. Besarnya taksiran emisi total = , dengan X_i adalah taksiran emisi setiap tahap dalam siklus material. Dengan X_1 adalah taksiran emisi ekstraksi, X_2 adalah taksiran emisi produksi, X_3 adalah taksiran emisi transportasi, X_4 adalah taksiran emisi konstruksi, X_5 adalah taksiran emisi operasional, X_6 adalah taksiran emisi pembongkaran bangunan. Total emisi yang dapat diprediksikan = 31.842 ton + 1.857.800 ton + 82.971 ton = 1.972.613 ton CO₂ ekivalen.

KESIMPULAN

Terkait dengan faktor keberlanjutan khususnya terhadap perubahan iklim yang disebabkan oleh efek gas rumah kaca, dalam taksiran emisi yang ditimbulkan oleh material saja berpotensi menghasilkan emisi CO₂ ekivalen sebesar 1.972.613 ton. Sedangkan terkait dengan limbah dan potensi daur ulang perlu diterapkan manajemen limbah mengingat penggunaan sumberdaya alam yang sangat besar tentu akan menghasilkan limbah proses konstruksi yang tinggi serta limbah konstruksi setelah masa pakai bangunan telah habis.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, M, Egbu, C, Haleem, A, Ebohon, J, & Khalfan, M, 2009 'Green construction in India: gaining a deeper understanding', *Journal of Architectural Engineering*, hh. 10-13.
- Augenbroe, G., dan Pearce, A. R., 1998, *Sustainable construction in the United State of America: A perspective to the year 2010*, Georgia Institute of Technology, Georgia.

([http:// web.mac.com/urbangenesi/iWeb/Products/Publications_files/BC001.pdf](http://web.mac.com/urbangenesi/iWeb/Products/Publications_files/BC001.pdf)).

Bakhom, E. S., dan Brown D. C., 2012, Developed Sustainable Scoring System For *Structural Materials Evaluation*, *Journal of Construction Engineering And Management*, 110-119.

Corus, 2006, Sustainable steel construction: The design and construction of sustainable *building*.

(http://www.tatasteelconstruction.com/file_source/StaticFiles/Construction/Library/sustainable%20steel%20construction.pdf)

Dardak, H., 2012, Konferensi Nasional Infrastruktur, Universitas Indonesia, Jakarta

Du Plessis, Chrisna, Edit., 2002: *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries*' Pretoria: Capture Press.

Ervianto, W. I., 2012, *Selamatkan Bumi Melalui Konstruksi Hijau*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.

<http://bisnis.vivanews.com>.

<http://dds.bps.go.id/diunduh> 14 Mei 2012.

Konstruksi Edisi Mei, 2010.

Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Nasional 2007, *Konstruksi Indonesia 2030 untuk kenyamanan Lingkungan Terbangun*, Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi Nasional, Jakarta.

Salim, E., 2010, *Ratusan Bangsa Merusak Satu Bumi*, Gramedia, Jakarta.