

## **EVALUASI MATERIAL WASTE DAN CARBON FOOTPRINT PADA PENERAPAN GREEN CONSTRUCTION**

Andini Nugrahardani, Iqbal Setyo Jatmiko, Mochamad Agung Wibowo<sup>\*)</sup>, Hari Budienny<sup>\*)</sup>,

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

*Proyek konstruksi memiliki dampak buruk terhadap lingkungan, antara lain limbah material dan emisi karbon yang dihasilkan pada proses konstruksi. Penanganan di lapangan perlu dilakukan untuk mengurangi limbah material dan emisi karbon yang berlebihan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari tindakan penanganan yang dilakukan oleh pihak kontraktor terhadap limbah material dan emisi karbon. Metode yang dilakukan yaitu dengan survey melalui wawancara kuisisioner secara langsung, dan dianalisis dengan statistik deskriptif. Dihadirkan pada sumber dan penyebab pada limbah material ataupun emisi karbon terdapat penanganan yang harus dilakukan untuk tercapainya green construction pada proyek konstruksi. Metode penanganan yang dihasilkan untuk mengurangi jumlah waste dan emisi karbon adalah dengan meningkatkan koordinasi dari pihak-pihak dalam proyek konstruksi, memanfaatkan material sisa, meningkatkan kualitas alat dan material, dan memperpendek jarak angkut transportasi material.*

**Kata kunci:** *Konstruksi hijau, Limbah material, Jejak karbon, Jembatan beton*

### **ABSTRACT**

*Construction projects have bad impacts on the environment, for example, material waste and carbon emissions produced in the process of construction. Handling on the site needs to be done to reduce material waste and excessive carbon emissions. This study aims to seek the action undertaken by the contractor to reduce material waste and carbon emissions. The research method using a questionnaire survey through direct interviews, and analyzed with descriptive statistics. Generated at the source and cause of the material waste or carbon emissions are handling must be done to achieve green construction on the construction project. Treatment methods to reduce the amount of material waste and carbon emissions are improving the coordination of the parties in a construction project, utilizing the residual material, improving the quality of tools and materials, and shorten the transport distance transportation of materials.*

**Keywords:** *Green construction, Material waste, Carbon footprint, Concrete bridge*

### **PENDAHULUAN**

Menurut Ringkasan Statistik Konstruksi yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik, nilai konstruksi mengalami peningkatan dari tahun 2010-2015 di Indonesia. Menurut Ervianto (2010), dengan meningkatnya proses konstruksi maka cadangan sumber daya alam akan berkurang dan menimbulkan dampak lain dari penggunaan fasilitas bangunan dan

---

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

pemilihan material berupa peningkatan suhu di bumi. Ancaman kelangkaan sumber daya alam erat kaitannya dengan *waste* (limbah). *Waste* (limbah) merupakan suatu benda yang rusak, cacat, dibuang, tidak diinginkan, ataupun benda yang berlebihan yang memungkinkan untuk dijual maupun didaur ulang dalam proses terpisah (*Environmental Protection Agency United States, 2007*).

Ancaman kedua akibat tingginya jumlah proyek konstruksi untuk lingkungan adalah pemanasan global. Pemanasan global ini erat kaitannya dengan carbon footprint karena menurut Ervianto (2010) menyatakan bahwa diduga penyebab utama dari pemanasan global ialah gas. *Carbon footprint* (jejak karbon) merupakan suatu ukuran dari jumlah total eksklusif dari emisi karbon dioksida yang dikeluarkan secara langsung atau tidak langsung yang disebabkan oleh suatu kegiatan atau terakumulasi pada *life stages* suatu produk (Wiedmann & Minx, 2007). Oleh karena itu, proyek konstruksi perlu dikelola untuk mengantisipasi agar tidak terjadi kerusakan lingkungan alam yang semakin parah. Salah satunya dengan menerapkan gerakan *Green Construction*.

Artikel ini berfokus pada penanganan yang dilakukan pada setiap tahap/siklus yang bisa menimbulkan limbah material dan emisi karbon, dan akan menghasilkan daftar tindakan – tindakan penanganan pada proyek konstruksi untuk tercapainya penerapan *green construction*. *Green Construction*, menurut (Harimurti, 2016) merupakan sebuah gerakan berkelanjutan yang mencita-citakan terciptanya konstruksi dari tahap perencanaan, pelaksanaan dan pemakaian produk konstruksi yang ramah lingkungan, efisien dalam pemakaian energi dan sumber daya, serta berbiaya rendah.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam melaksanakan penelitian ini metode analisis yang digunakan untuk mencari tindakan penanganan pada proyek konstruksi untuk tercapainya *green construction* adalah dengan melakukan survei pada pihak-pihak konstruksi. Data sekunder berupa data yang dikumpulkan bersumber dari arsip atau dokumen proyek yang berasal dari instansi terkait dan sumber lainnya bersumber dari literature. Setelah didapatkan data hasil survei lapangan, maka akan diolah dan digabungkan dengan cara statistik deskriptif untuk penarikan kesimpulan penelitian.

## **GREEN CONSTRUCTION**

*Green construction* dijelaskan oleh (Ervianto, 2013) sebagai suatu perencanaan dan pelaksanaan proses konstruksi untuk meminimalkan dampak negatif proses konstruksi terhadap lingkungan agar terjadi keseimbangan antara kemampuan lingkungan dan kebutuhan hidup manusia untuk generasi sekarang dan mendatang. Pendapat lain mengenai *Green Construction*, menurut (Harimurti, 2016) merupakan sebuah gerakan berkelanjutan yang mencita-citakan terciptanya konstruksi dari tahap perencanaan, pelaksanaan dan pemakaian produk konstruksi yang ramah lingkungan, efisien dalam pemakaian energi dan sumber daya, serta berbiaya rendah. Selanjutnya, pendapat *Green construction* menurut Glavinich (2008) di (Kementrian Pekerjaan Umum, 2013) adalah perencanaan dan pengelolaan proyek konstruksi agar supaya pengaruh proses konstruksi terhadap lingkungan seminimal mungkin. Kontraktor harus berperan proaktif peduli terhadap lingkungan, selalu meningkatkan efisiensi dalam proses konstruksi, konservasi energi, efisiensi pemanfaatan air, dan sumber daya lainnya selama masa konstruksi serta meminimalkan dan mengelola limbah konstruksi secara baik.

Ada dua aspek penting pada konsep *Green Construction*, yang pertama adalah penghematan bahan dalam penggunaan bahan dan yang kedua adalah pengurangan limbah (Kementrian Pekerjaan Umum, 2013). Aspek yang pertama, menurut Wijanarko (2009) pada (Kementrian Pekerjaan Umum, 2013) industri konstruksi secara global mengkonsumsi 50% sumber daya alam dunia, 40% energi dunia, dan 16% air, hal ini menjadikan industri konstruksi salah satu pengguna sumber daya alam yang terbesar. Untuk aspek yang kedua, (Anink, 1996) di (Kementrian Pekerjaan Umum, 2013) menjelaskan salah satu penyebab tingginya jumlah limbah dalam konstruksi adalah karakteristik industri ini dalam menggunakan sumber daya alam yang melebihi dari apa yang diperlukan untuk proses konstruksi. Meskipun limbah konstruksi tidak seberbahaya limbah dari industri lainnya, limbah konstruksi tetap akan menurunkan kualitas dari lingkungan hidup, oleh karena itu sudah seharusnya dilakukan minimalisasi pengaruhnya terhadap lingkungan.

## **LIMBAH MATERIAL**

*Waste* (limbah) merupakan suatu benda yang rusak, cacat, dibuang, tidak diinginkan, ataupun benda yang berlebihan yang memungkinkan untuk dijual maupun didaur ulang dalam proses terpisah (Environmental Protection Agency United States, 2007). Craven et al. (1994) menyatakan bahwa kegiatan konstruksi menghasilkan limbah sebesar kurang lebih 20% s/d 30% dari keseluruhan limbah di Australia. Rogoff dan Williams (1994) menyatakan bahwa 29% limbah padat di Amerika Serikat berasal dari limbah konstruksi. Ferguson et al. (1995) menyatakan lebih dari 50% dari seluruh limbah di United Kingdom berasal dari limbah konstruksi. Anink (1996) menyebutkan bahwa sektor konstruksi yang terdiri dari tahap pengambilan 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.

Berikut adalah tabel sumber dan penyebab terjadinya sisa material konstruksi menurut Gavilan dan Bemold (1994) dalam (Ningrum, 2015):

Tabel 1. Sumber dan Penyebab Terjadinya Sisa Material Konstruksi

Sumber	Penyebab
Desain	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kesalahan dalam dokumen kontrak</li> <li>- Ketidaklengkapan dokumen kontrak</li> <li>- Perubahan desain</li> <li>- Memilih spesifikasi produk</li> <li>- Memilih produk yang berkualitas rendah</li> <li>- Kurang memperhatikan ukuran dari produk yang digunakan</li> <li>- Desainer tidak mengenal dengan baik jenis-jenis produk yang lain</li> <li>- Pendetailan gambar yang rumit</li> <li>- Informasi gambar yang kurang</li> <li>- Kurang berkoordinasi dengan kontraktor &amp; kurang berpengetahuan tentang konstruksi</li> </ul>
Pengadaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kesalahan pemesanan, kelebihan, kekurangan, dsb.</li> <li>- Pesanan tidak dapat dilakukan dalam jumlah kecil</li> <li>- Pembelian material yang tidak sesuai dengan spesifikasi</li> <li>- Kemasan kurang baik, menyebabkan terjadi kerusakan dalam perjalanan</li> </ul>

Tabel 1. Sumber dan Penyebab Terjadinya Sisa Material Konstruksi

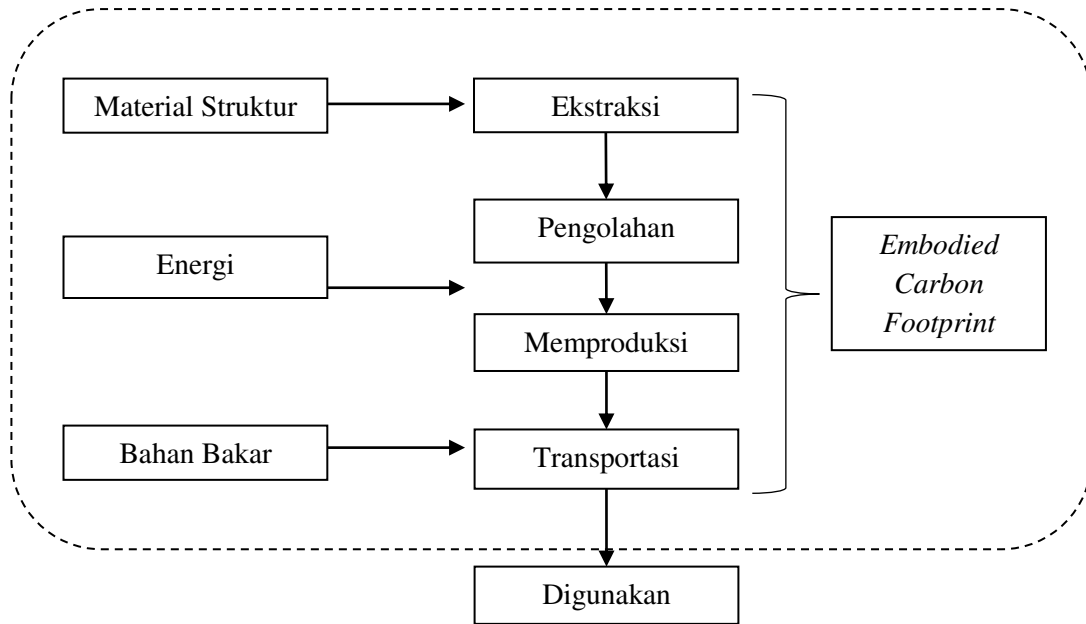
Sumber	Penyebab
Penanganan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material yang tidak dikemas dengan baik</li> <li>- Material yang terkirim dalam keadaan tidak padat/kurang</li> <li>- Membuang atau melempar material</li> <li>- Penanganan material yang tidak hati-hati pada saat pembongkaran untuk dimasukan ke dalam gudang</li> <li>- Penyimpanan material yang tidak benar menyebabkan kerusakan</li> <li>- Kerusakan material akibat transportasi ke/di lokasi proyek</li> </ul>
Pelaksanaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kesalahan yang diakibatkan oleh tenaga kerja</li> <li>- Peralatan yang tidak berfungsi dengan baik</li> <li>- Cuaca yang buruk</li> <li>- Kecelakaan pekerja di lapangan</li> <li>- Penggunaan material yang salah sehingga perlu diganti</li> <li>- Metode untuk penempatan pondasi</li> <li>- Jumlah material yang dibutuhkan tidak diketahui karena perencanaan yang tidak sempurna</li> <li>- Informasi tipe dan ukuran material yang akan digunakan terlambat disampaikan kepada kontraktor</li> <li>- Kecerobohan dalam mencampur, mengolah, dan kesalahan dalam penggunaan material sehingga perlu diganti</li> <li>- Pengukuran di lapangan tidak akurat sehingga terjadi kelebihan volume</li> </ul>
Residual	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sisa pemotongan material tidak dapat dipakai lagi</li> <li>- Kesalahan pada saat memotong material</li> <li>- Kesalahan pesanan barang, karena tidak menguasai spesifikasi</li> <li>- Kemasan</li> <li>- Sisa material karena proses pemakaian</li> </ul>
Lain-lain	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kehilangan akibat pencurian</li> <li>- Buruknya pengontrolan material di proyek dan perencanaan terhadap sisa material</li> </ul>

Sumber: Ningrum, 2015

### **CARBON FOOTPRINT**

*Carbon footprint* (Jejak karbon) merupakan suatu ukuran dari jumlah total eksklusif dari emisi karbon dioksida yang dikeluarkan secara langsung atau tidak langsung yang disebabkan oleh suatu kegiatan atau terakumulasi pada *life stages* suatu produk (Wiedmann & Minx, 2007). Sedangkan menurut (Hermawan, et al., 2013) emisi karbon dioksida terbagi menjadi 2 yaitu emisi langsung dan emisi tidak langsung.

Emisi karbon dihasilkan cukup banyak pada bangunan dibandingkan kegiatan yang lain. Menurut United Nations Environment Programme, bangunan mengkonsumsi sekitar 40% dari sumber daya dunia, sebagian besar dalam bentuk penggunaan bahan (United Nations Environment Programme, 2007). Pendapat lain, Menurut Blengini (2009) dan Thormark (2002) dalam (Gardezi, et al., 2016), bangunan menyumbang 29% - 40% dari energi yang digunakan untuk pembuatan dan mengangkut bahan bangunan. Skema *embodied carbon* menurut Marique et.al (2012) dibagi berdasarkan pada *life stages* produk dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. *Embodied Carbon Footprint*

Sumber: *Marique et al, 2012*

Berikut adalah tabel sumber dan penyebab terjadinya sisa material konstruksi menurut Wong & Tang (2012) dan Ervianto (2013).

Tabel 2. Penyebab Terjadinya Emisi Karbon pada Setiap Tahap

No.	Tahap Siklus	Indikator	Sumber
1	Produksi	a. Pemilihan sumber energi yang tidak terbarukan b. Pemilihan sumber material yang tidak terbarukan c. Penggunaan alat produksi yang tidak efisien	(Wong & Tang, 2012), dan (Ervianto, 2013)
2	Transportasi	a. Jarak <i>batching plant</i> terlalu jauh dari <i>site</i> b. Penggunaan alat transportasi yang tidak efektif (terlalu banyak)	(Wong & Tang, 2012)
3	Konstruksi	a. Tidak dilakukan perhitungan emisi CO <sub>2</sub> di lapangan b. Tidak dilakukan penggantian emisi karbon dengan penanaman pohon	(Ervianto, 2013)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penanganan yang dilakukan untuk mengurangi material waste dan emisi karbon yang berlebihan berdasarkan analisis penelitian. Dari hasil kuisioner diperoleh penanganan masing-masing kategori, yang pertama dari *waste factor* berupa kategori manajemen/administrasi, pekerja/pelaksana, pelaksanaan pekerjaan, material dan informasi/komunikasi, untuk carbon footprint, sesuai tahapan material tersebut dari bagian produksi, transportasi dan pelaksanaan konstruksi di lapangan telah direkapitulasi dalam Tabel 3.

Tabel 3. Penanganan pada Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap *Waste* dan *Carbon Footprint*

No.	Kategori	Indikator	Penanganan
I	<i>Waste Factor</i>		
1	Manajemen /Administrasi	a. Kurangnya pengawasan dalam perencanaan /pelaksanaan	- Harus memperketat pengawasan baik dari pihak owner, konsultan pengawas, maupun pelaksana - Rapat 2x seminggu
		b. Perencanaan dan penjadwalan yang buruk	- Perencanaan dan penjadwalan harus dilakukan dengan baik, dan harus fix 1 minggu sebelum pekerjaan
		c. Birokrasi atau tata aturan yang kurang baik	- Sudah ada standarisasi (ISO) melalui SOP dari kontraktor
		d. Kurangnya koordinasi antar pekerja	- Pekerjaan yang dilakukan pekerja harus disesuaikan dengan metode pelaksanaan (sistematis) dan harus ada fungsi controlling dari kontraktor - Rapat di lapangan dengan mengingatkan kontraktor dan konsultan
2	Pekerja/Pelaksana	a. Telatnya pengawasan oleh pelaksana terhadap suatu pekerjaan	- Diingatkan dalam rapat rutin dan memperketat pengawasan di lapangan
		b. Pekerja dan distribusi peralatan yang buruk	- Pengawasan terhadap spek
		c. Pengawas yang kurang berpengalaman	- Penggantian personil di lapangan dengan segera - Pengawas harus paham dengan pekerjaan yang diawasi
		d. Kurangnya keterampilan dari pekerja	- Peningkatan kualitas dari pekerja
		e. Kurangnya jumlah mandor dan pengawas	- Penambahan personil dari pihak kontraktor, berupa mandor atau asisten mandor
3	Pelaksanaan pekerjaan	a. Metode pelaksanaan konstruksi yang tidak tepat	- Metode pelaksanaan harus berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan dalam kontrak (baik dalam spesifikasi material atau metode pelaksanaan)
		b. Kurangnya peralatan dalam pelaksanaan pekerjaan	- Ditambahkan kuantitas peralatan di lapangan atau dengan membeli alat baru sehingga kapasitas produksi dapat meningkat - Selalu dilakukan monitoring dalam pelaksanaan pekerjaan
		c. Dokumen-dokumen proyek tidak lengkap	
		d. Pengaturan tata letak site (lapangan) yang buruk	- Perletakan alat berat harus diposisikan dekat dengan lokasi pekerjaan agar tidak mengganggu mobilisasinya

Tabel 3. Penanganan pada Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap *Waste* dan *Carbon Footprint* (Lanjutan)

No.	Kategori	Indikator	Penanganan
4	Material	e. Peralatan yang dipakai telah usang ( <i>tidak layak pakai</i> )	- Melakukan pengecekan alat setiap mobilisasi ke proyek dan apabila terjadi, dilakukan penggantian alat - Apabila alat mengalami kerusakan ringan, agar segera dilakukan service supaya tidak mengganggu jalannya pekerjaan.
		f. Pemilihan peralatan yang kurang efektif dan efisien	- Pemakaian alat harus disesuaikan dengan kebutuhan alat di lapangan
		g. <i>Terhambat akibat Iklim / cuaca (pekerjaan tanah)</i>	- Kontraktor menambah jam kerja (lembur) untuk mengejar target. Terjadi penambahan alat dan pekerja
		h. <i>Keterlambatan mobilisasi proyek</i>	- Owner harus memantau dan memperingati setiap minggu
	Material	a. Penanganan material yang buruk di lapangan	- Kepedulian untuk pengendalian proyek
		b. Jadwal pengiriman material yang tidak sesuai dengan kesepakatan	- Material yang didatangkan dan dipakai harus "just in time" artinya pendaratangannya tidak boleh terlalu awal dan terlambat, - Penyesuaian pemakaian material (material yang telah tiba di workshop tetap dipakai untuk pekerjaan lain) atau dilakukan penukaran material
		c. Tidak tersedia tempat yang memadai untuk material di lapangan	- Membangun stockpile untuk tempat material di lapangan
		d. Kualitas material yang tidak sesuai dengan spesifikasi	- Material yang tidak sesuai spesifikasi harus dibuang (tidak dapat dipakai)
e. Penyalahgunaan material		- Tidak boleh dilakukan penyalahgunaan material	
5	Informasi/ Komunikasi	a. Informasi dan pengambilan keputusan yang terlambat	- Untuk meminimalkan terjadinya miskomunikasi antara GSI/SP dengan mandor/subkon tiap hari untuk diadakan " <i>morning meeting</i> " dan untuk mempermudah komunikasi dilapangan digunakan HT agar lebih cepat dan efisien
		b. Pemberian informasi yang kurang jelas sehingga menimbulkan kesalahan dalam pekerjaan	

Tabel 3. Penanganan pada Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap *Waste* dan *Carbon Footprint* (Lanjutan)

No.	Kategori	Indikator	Penanganan
		c. Kesalahan dalam menerima informasi oleh pelaksana	- Meningkatkan pengawasan dari kinerja <i>Project Construction Manager</i>
		d. Informasi tidak sampai pada pihak pelaksana dari owner	- Melakukan rapat 3 hari sekali di lapangan untuk mengecek ulang informasi
II <i>Carbon Footprint</i>			
1	Produksi	a. Pemilihan sumber energi yang tidak terbarukan	- Dilakukan pencarian teknologi baru agar dapat ditemukan alat dengan sumber energi terbarukan
		b. Pemilihan sumber material yang tidak terbarukan	- Dilakukan penelitian mengenai sumber material agar dapat ditemukan material terbarukan
		c. Penggunaan alat produksi yang tidak efisien	
2	Transportasi	a. Jarak <i>batching plant</i> terlalu jauh dari <i>site</i>	- Apabila terlalu jauh maka jarak <i>batching plant</i> didekatkan dengan <i>site</i>
		b. Penggunaan alat transportasi yang tidak efektif (terlalu banyak)	
3	Konstruksi	a. Tidak dilakukan perhitungan emisi CO <sub>2</sub> di lapangan	- Untuk perhitungan / test emisi CO <sub>2</sub> dilakukan oleh bagian SHE secara berkala sehingga limbah dan emisi karbon masih dapat dikontrol
		b. Tidak dilakukan penggantian emisi karbon dengan penanaman pohon	

Pembahasan pertama mengenai *waste factor*, dimulai dari manajemen/administrasi, tindakan yang dilakukan sebagai penanganan yaitu melakukan pengawasan dari pihak *owner*, konsultan pengawas, dan kontraktor pelaksana, serta dengan mengadakan rapat rutin setiap minggu antar belah pihak. Untuk mengatasi tata aturan yang kurang baik, perlu dilaksanakannya *Standard Operating Procedure* yang sesuai dari pihak kontraktor. Kedua, tahapan pekerja/pelaksana fokus terhadap pengelolaan sumber daya manusia yang ada pada pelaksanaan proyek. Tindakan yang dilakukan dari pihak pelaksana antara lain peningkatan dan atau penggantian personel apabila tidak memiliki kompetensi yang baik dalam bidangnya. Penambahan personel juga dilakukan apabila ada jumlah mandor/pengawas yang kurang di lapangan, karena untuk meningkatkan kualitas pekerjaan.

Dari segi pelaksanaan pekerjaan, beberapa tindakan yang diambil antara lain penggunaan metode pelaksanaan konstruksi yang sesuai dengan ketentuan dan telah ditetapkan pada kontrak. Selain dari metode pelaksanaan, penanganan *site* dan manajerial peralatan kerja dilakukan dengan cara:

1. Perletakan alat berat yang dekat dengan pekerjaan supaya tidak mengganggu mobilisasinya.
2. Apabila terjadi kerusakan, segera dilakukan perbaikan, dan untuk tingkat kerusakan yang parah akan dilakukan penggantian alat baru.



3. Melakukan *monitoring* pelaksanaan pekerjaan untuk mengetahui bagian pekerjaan yang kekurangan alat, apabila ada, maka segera ditambahkan alat untuk meningkatkan kapasitas produksi.

Penanganan pada kategori material dilakukan dengan berbagai metode sesuai dengan kasus yang ada di lapangan, seperti untuk jadwal pengiriman material, apabila terjadi keterlambatan maka berdampak pada penyalahgunaan material, karena terbatasnya waktu. Kedua masalah tersebut diatasi dengan perbaikan penjadwalan yang dilakukan untuk stok material, dan pengaturan *stock yard* untuk kebutuhan material lainnya. Apabila terjadi sisa/*material waste*, maka dilakukan *reuse* untuk penggunaan bagian – bagian *non-structural*. Pemanfaatan pada sisa material beton digunakan untuk LC, jalan akses, beton decking, saluran, kerb, pekerjaan non struktural. Sedangkan pemanfaatan untuk baja tulangan ulir digunakan untuk cakar ayam, penguat girder, railing jembatan akses, tiang rambu K3. Apabila tidak bisa dimanfaatkan, maka untuk material beton akan dibuang di sekitar proyek. Sedangkan untuk material baja tulangan ulir akan dikumpulkan, disimpan, dan dijual lagi.

Tahap informasi/komunikasi juga berperan dalam manajemen *waste* yang dilakukan oleh pelaksana konstruksi. Hal – hal yang berdampak antara lain kesalahan dan keterlambatan informasi dari pihak pelaksana hingga ke pekerja yang dilapangan, sehingga muncul hasil yang tidak sesuai dengan harapan pemilik proyek. Tindakan yang dilakukan untuk mengatasi hal ini yaitu dengan meningkatkan kinerja pengawasan dan juga melakukan pertemuan baik itu rapat secara formal, atau pertemuan di lapangan secara langsung, sehingga diharapkan hasil pekerjaan sesuai dengan perencanaan.

Tahapan yang ditinjau pada *carbon footprint* yaitu dari proses produksi material, transportasi, dan pelaksanaan konstruksi di lapangan. Pada tahap produksi, sedikitnya material alternatif ramah lingkungan menjadi keterbatasan dalam mencapai *green construction*, yang harus dilakukan adalah dengan cara melakukan penelitian baru mengenai sumber energi dan material yang terbarukan. Sedangkan pada tahap transportasi, penggunaan alat sudah dilakukan secara efisien dengan memaksimalkan kapasitas angkut alat transportasi, akan tetapi perlu dilakukan pemilihan sumber material yang dekat dengan *site* pelaksanaan proyek. Ketika di lapangan, masih kurang untuk penggantian emisi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan selama proses konstruksi, dan hanya dilakukan perhitungan/tes emisi CO<sub>2</sub> oleh pihak SHE secara berkala.

## **KESIMPULAN**

Penanganan yang dilakukan untuk mengurangi jumlah *waste* dan emisi karbon yang berlebih dengan cara:

1. Melakukan koordinasi dari pihak *owner*, kontraktor, dan konsultan pengawas dengan rapat rutin mingguan bertujuan untuk mengurangi kesalahan informasi sehingga terjadi *waste*.
2. Menggunakan material tersisa untuk keperluan lain, baja tulangan ulir dipotong semaksimal mungkin dan digunakan sebagai pengganti beton *decking*, penggunaan sisa beton untuk pengecoran bagian non struktural.
3. Meningkatkan kualitas manajemen alat dan material dengan penjadwalan dan pengadaan alat dan material yang baik dan sesuai dengan kebutuhan yang ada di lapangan. Contoh: reparasi alat apabila ada kerusakan, penambahan alat apabila produktivitas masih kurang.

4. Memperpendek jarak angkut transportasi material dengan pemilihan *suplier* yang dekat dengan proyek konstruksi. Contoh pembangunan *batching plant* sementara di lingkungan proyek.

#### DAFTAR PUSTAKA

- E. P. A. U. S., 2007. *Construction Waste Management Section 01 74 19*, United States.
- Ervianto, W. I., 2013. Kajian Green Construction Infrastruktur Jalandalam Aspek Konservasi Sumber Daya Alam. *Konsferensi Nasional Teknik Sipil 7*.
- Ervianto, W. I., 2013. *Manajemen Limbah Dalam Proyek Konstruksi*, Yogyakarta.
- Gardezi, S. S. S. et al., 2016. A Multivariable Regression Tool for Embodied Carbon Footprint. *Habitat International 53*, pp. 292-300.
- Harimurti, P. G., 2016. *Green Construction*. [Online] Available at: <https://putuhari.wordpress.com/tulisanku/green-construction/>
- Hermawan, Marzuki, P. F., Abduh, M. & Driejana, R., 2013. *Peran Life Cycle Analysis (Lca) pada Material Konstruksi dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca*. Surakarta, Universitas Sebelas Maret, pp. 47-52.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2013. *Kajian Rantai Pasok Material dan Peralatan Konstruksi dalam Mendukung Investasi di Bidang Konstruksi Berkelanjutan*, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta Selatan.
- Ningrum, D. S. W., 2015. *Konsep Daur Ulang pada Material Bekas sebagai Elemen Interior Kafe di Medan*, Medan.
- United Nations Environment Programme, 2007. *UNEP 2007 Annual Report*, Kenya: United Nations Environment Programme.
- Wiedmann, T. & Minx, J., 2007. A Definition of "Carbon Footprint". *Ecological Economics Research Trends*, pp. 1-9.
- Wong, F. & Tang, Y., 2012. Comparative Embodied Carbon Analysis of the Prefabrication Elements compared with In-situ Elements in Residential Building Development of Hong Kong. *International Journal of Civil and Environmental Engineering 6*, pp. 146-151.