

EVALUASI WASTE DAN CARBON FOOTPRINT DALAM KONSEP GREEN CONSTRUCTION PEKERJAAN BETON READY MIX PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG

Tegar Ramadhan Pramana Negara, Fenny Adellia Marlita Sari, Suharyanto^{*)}, M. Agung Wibowo.^{*)}

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

ABSTRAK

Dewasa green construction dituntut untuk bisa meminimalisasi dampak sebuah proyek konstruksi terhadap lingkungan, terutama mengenai limbah konstruksi dan carbon footprint. Oleh sebab itulah maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisa volume waste dan carbon footprint dalam konsep green construction yang terfokus di pekerjaan beton ready mix sebagai pekerjaan terpenting dalam sebuah proses konstruksi gedung. Penelitian diawali dengan mengidentifikasi kejadian waste dan carbon footprint dengan metode studi literatur dan dikonfirmasi melalui metode wawancara untuk perkiraan awal. Hasil ini kemudian dilakukan validasi dengan metode pengamatan langsung untuk mendapatkan data estimasi volume waste dan carbon footprint yang sebenarnya terjadi. Hasil analisa menunjukkan bahwa volume waste yang dihasilkan dari batching plant hingga site project dari pekerjaan beton sebesar 76 m³ adalah berupa beton bercampur air sebesar 8,40 m³ (WL = 0,111), beton ready mix sebesar 6,037 m³ (WL = 0,079), pasir sebesar 0,044 m³ (WL = 0,00249), kerikil sebesar 0,016 m³ (WL = 0,00045) dan campuran pasir-kerikil sebesar 0,0023 m³ (WL = 0,00004). Sedangkan volume carbon footprint yang dihasilkan selama cradel to site sebesar 150664,31 kgCO₂. Nilai hasil dari penilaian green construction adalah sebesar 2,25 (Enabling) sehingga dinyatakan sanggup dan memungkinkan menerapkan konsep green construction pada pekerjaan beton ready mix.

Kata kunci: Waste, Carbon Footprint, Green Construction

ABSTRACT

Green construction must capable to minimize the environment effect of the construction project, through minimization of construction waste and carbon footprint. The purpose of this study is to analyze the volume of waste, carbon footprint, and the assessment of green construction concept which focused in the work of ready mix concrete as an important stage in a building construction process. The study begins by identifying the occurrence of waste and carbon footprint based on literature which is then confirmed through the interview method as the initial estimates. These results are validated further by the method of direct observation to obtain estimated volume of material waste and carbon footprint actually occurred. The analysis shows that the volume of waste generated from batching plant to the site project is 8.40 m³ (WL = 0.111) of concrete mixed with water, 6.037 m³ (WL = 0.079) of ready mix concrete, 0.044 m³ (WL = 0.00249) of sand, 0.016 m³ (WL = 0.00045) of gravel and 0.0023 m³ (WL = 0.00004) of a mix of sand and gravels out of 76 m³ concrete works.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

In other side, the analysis shows that the volume of carbon footprint generated during cradle to the site is 150664.31 kgCO₂. The value of green construction ratings is 2.25 (Enabling), which mean it could and allows applying the concept of green construction in the ready mix concrete work.

Keywords: *Waste, Carbon Footprint, Greem Construction*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Proyek konstruksi berperan penting terhadap kerusakan lingkungan. Indikasi lain dari kerusakan lingkungan yaitu terjadinya fenomena yang disebabkan oleh efek pemanasan gas rumah kaca dan meningkatnya karbon dioksida. Salah satu penyebabnya diyakini oleh para peneliti adalah pembangunan (Ervianto et al, 2013). Hal ini dikarenakan kegiatan konstruksi tidak dapat menghindari pemakaian sumber daya alam yang semakin berkurang (Sinulingga, 2012).

Dari tahun ke tahun proyek konstruksi semakin meningkat, terutama proyek konstruksi gedung dengan struktur beton bertulang dan beton ready mix sebagai metode pengecorannya. Untuk mewujudkan *sustainable construction* inilah maka proses konstruksi dilakukan dengan konsep ramah lingkungan (*green*). *Green construction* diperlukan untuk dapat meminimalisasi dampak negatif terhadap lingkungan dalam proses pembangunan baik untuk saat ini dan dimasa mendatang.

Dalam konsep *green construction*, limbah (*waste*) dan *carbon footprint* sangat berpengaruh dalam proses konstruksi. Menurut Formoso et al (2002) dalam Ratnasari (2014), *waste* pada konstruksi adalah kehilangan atau kerugian berbagai sumber daya, yaitu material, waktu (yang berkaitan dengan tenaga kerja dan peralatan) dan modal, yang diakibatkan oleh kegiatan-kegiatan yang membutuhkan biaya secara langsung maupun tidak langsung tetapi tidak menambah nilai kepada produk akhir bagi pihak pengguna jasa konstruksi. Dalam proyek konstruksi sangat erat hubungannya dengan jejak karbon (*carbon footprint*) baik saat pembangunan maupun saat dioperasikannya bangunan tersebut. *Carbon footprint* adalah total keseluruhan dari karbon dioksida dan efek gas rumah kaca yang dihasilkan pada seluruh siklus proses atau produksi. (*Parliamentary Office of Science and Technology*, 2006).

Artikel ini akan berfokus membahas mengenai jumlah volume *waste* dan *carbon footprint* yang dihasilkan selama pekerjaan beton *ready mix* pada proyek konstruksi gedung. Dengan studi kasus Proyek Rusun Marga Jaya dan *batching plant* PT. Pionirbeton Industry.

Batasan Masalah

Untuk mempermudah proses penelitian maka penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. *Waste* berfokus dari *raw material* beton *ready mix* dan beton cair.
2. *Waste* yang diamati berupa material solid yang dapat dihitung, tidak termasuk debu dan sejenisnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Waste

Menurut Formoso et al., (2002) dalam Ratnasari (2014), *waste* pada konstruksi adalah kehilangan atau kerugian berbagai sumber daya, yaitu material, waktu (yang berkaitan dengan tenaga kerja dan peralatan) dan modal, yang diakibatkan oleh kegiatan-kegiatan yang membutuhkan biaya secara langsung maupun tidak langsung tetapi tidak menambah nilai kepada produk akhir bagi pihak pengguna jasa konstruksi. Berdasarkan hasil riset di berbagai dunia diperoleh data bahwa lebih dari 50% dari seluruh limbah yang dihasilkan berasal dari aktifitas konstruksi (Ervianto, 2012). Meningkatnya jumlah limbah konstruksi tersebut berasal dari proses konstruksi. Boosink dan Brouwes (1996) menyatakan bahwa rata-rata limbah material konstruksi akibat limbah beton sebesar 4,67%. Sedikit berbeda dengan TCG-JSCE, 2009 di Athens, menyatakan bahwa sebesar 75 juta ton per tahun limbah dihasilkan oleh industri konstruksi atau sekitar 18% total limbah industri di Jepang. Dengan menempatkan beton sebagai penyumbang limbah konstruksi terbesar yaitu 32 juta ton per tahun atau sekitar 41% total limbah industri yang dihasilkan oleh konstruksi di Jepang. Untuk menganalisis besaran *waste* pada suatu *project* dilakukan perhitungan sebagai berikut ini (Wiguna et al., 2009).

1. Menghitung Volume Waste

$$\text{Volume Waste} = \text{Volume Material Masuk} - \text{Volume Material Terpakai} \dots\dots\dots (1)$$

2. Menghitung Wastage Level

$$\text{Wastage Level} = \frac{\text{Volume Waste}}{\text{Volume Material Terpakai}} \dots\dots\dots (2)$$

Carbon Footprint

Carbon footprint adalah total keseluruhan dari karbon dioksida dan efek gas rumah kaca yang dihasilkan pada seluruh siklus proses atau produksi (*Parliamentary Office of Science and Technology*, 2006). Menurut Wiedmann dan Minx (2008), *carbon footprint* adalah jumlah karbon dioksida yang dihasilkan akibat kegiatan sehari-hari. Berdasarkan penelitian RMCAO tahun 2011 dan Sakai tahun 2008 industri *portland cement* adalah salah satu produsen terbesar dari karbon dioksida dan berkontribusi sekitar 7 % dari emisi karbon dioksida dunia. Dan sebuah *report* dari NRMCA (2012) menyatakan bahwa sekitar 100 sampai 300 kg karbondioksida (CO₂) diwujudkan dari produksi setiap meter kubik beton atau sekitar 5% hingga 13% dari berat beton tergantung dari *mix design*-nya. Menurut *Assessment Guide-Construction Industry Council* di Kowloon, Hong Kong (2014), penilaian jejak karbon (*carbon footprint*) beton *ready mix* berdasarkan pendekatan “*cradle-to-site*”, mencakup seluruh emisi gas rumah kaca dan perpindahannya dari akuisisi dan produksi bahan baku.

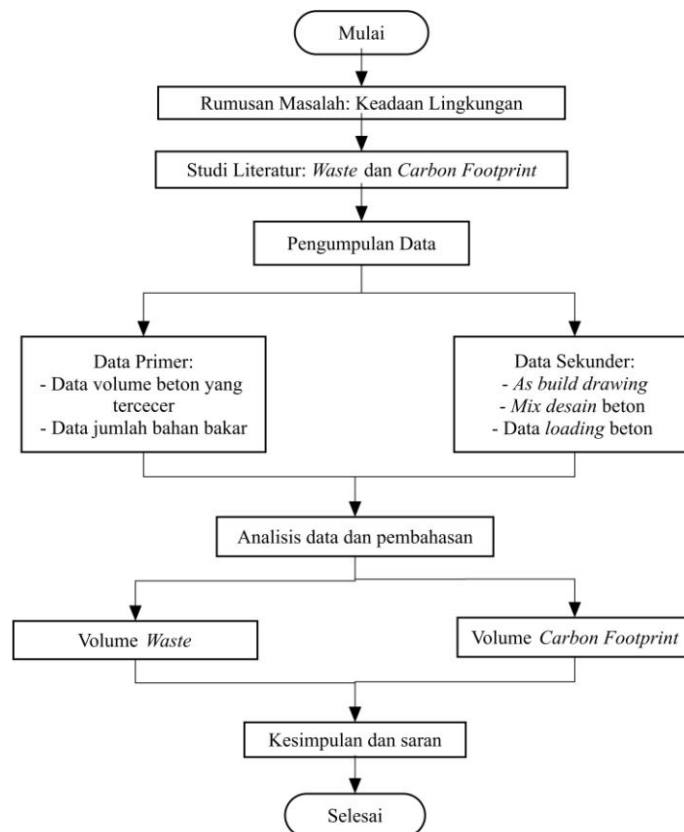
Adapun cara menghitung emisi karbon yang dihasilkan adalah sebagai berikut ini:

1. Menghitung volume beton *ready mix*
2. Menghitung jumlah perjalanan yang digunakan
3. Mendapatkan data konsumsi bahan bakar
4. Menghitung konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan
5. Menghitung emisi karbon menggunakan data konsumsi bahan bakar dan faktor emisi. Indikator kg CO₂/ton dihitung dari konversi data beton dan data pengiriman menggunakan faktor karbon.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan acuan dari langkah-langkah yang dilakukan selama penelitian. Dengan mengikuti langkah-langkah yang sudah diterapkan dalam metodologi penelitian, maka diharapkan penelitian dapat berjalan dengan sistematis. Metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Adapun studi kasus dari penelitian ini adalah Proyek Pembangunan Rusun 3 Lantai Pegawai Marga Jaya yang berlokasi di Jl. Raya Tajem, Maguwoharjo, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta dan *Batching plant* PT. Pionirbeton Industry - Yogyakarta



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Untuk mendapatkan data primer tersebut dilakukan dengan studi literatur yang kemudian dilakukan wawancara dan hasil tersebut divalidasi dengan pengamatan langsung di lapangan. Kemudian untuk data sekunder didapatkan dari pihak *batching plant* dan kontraktor.

DATA-DATA

1. Rekapitulasi Hasil Wawancara di *Batching Plant*

Dilakukan wawancara kepada *senior plant manager* untuk menelusuri material dan bahan bakar yang meninggalkan jejak karbon. Selain itu, identifikasi bentuk *waste* dan besarnya juga ditelusuri melalui tahapan-tahapan yang ada.

Tabel 1. Hasil Penelusuran Bahan Bakar dan Waste di *Batching plant*

No.	Tahapan Beton <i>Ready Mix</i>	Jenis Bahan Bakar	Jumlah Bahan Bakar	Bentuk Waste	Volume Waste
1.	Pengadaan material sampai <i>stock pile</i> (penyimpanan)	Solar	3,5 – 4 liter tiap 1 m ³	Kerikil, Pasir, Semen	0,113 m ³ /Angkutan
2.	<i>Loading</i> material ke tungku	PLN	17000kWH/tahun	Kerikil, Pasir	≤ 0,8% tiap <i>truck mixer</i>
3.	Pengadukan beton dengan sistem <i>dry</i>	Solar	3,8 liter tiap 1 m ³	Campuran pasir dan kerikil	≤ 1% tiap <i>truck mixer</i>
4.	Perjalanan beton <i>ready mix</i>	Solar	4,0 liter tiap 1 m ³	Beton <i>ready mix</i>	8000 cm ³ /Ceceran
5.	Pengembalian beton dari <i>site</i>	-	-	Beton <i>ready mix</i>	Tidak ada
6.	Pencucian <i>truck mixer</i>	-	-	Beton bercampur air	≤ 1% tiap <i>truck mixer</i>

Penelusuran selanjutnya mengenai bentuk transportasi yang ada, baik sebelum menuju *batching plant*, selama ada di *batching plant* dan transportasi yang terjadi setelah meninggalkan *batching plant*.

Tabel 2. Data Transportasi Material

No.	Material	Alat Angkut	Jenis Bahan Bakar	Jumlah Bahan Bakar *standarized	Tempat Asal	Tempat Tujuan	Jarak	Waktu
1.	Agregat Halus	<i>Dump Truck</i>	Solar	3,5 liter/m ³	Gn.Merapi, Jawa Tengah	<i>Batching plant</i>	35 km	1 jam
2.	Agregat Kasar	<i>Dump Truck</i>	Solar	3,8 liter/m ³	Gn.Merapi, Jawa Tengah	<i>Batching plant</i>	35 km	1 jam
3.	Semen 'TigaRoda'	<i>Dump Truck</i>	Solar	3,7 liter/m ³	Palimanan, Jawa Barat	<i>Batching plant</i>	545 km	15,57 jam
4.	<i>Ready Mix</i>	<i>Truck mixer</i>	Solar	4 liter/m ³	<i>Batching plant</i>	<i>Site project</i>	22 km	1 jam
5.	-	<i>Concrete Pump</i>	Solar	3,5 liter/m ³	<i>Batching plant</i>	<i>Site project</i>	22 km	1 jam

Untuk mengetahui volume material-material yang diangkut dan yang diproses selama pembuatan beton siap pakai maka diperlukannya komposisi material-material tersebut sesuai *job mix* yang ada. Berikut ini ditampilkan komposisi beton K300 (mutu beton sesuai proyek) dalam standar *job mix*.

Tabel 3. Komposisi Beton Sesuai *Standart Jobmix*

No.	Material	Prosentase	Keterangan
1.	Pasir	23,3 %	-
2.	Semen	19,9 %	-
3.	Kerikil	46,0 %	-
4.	Air	10,8 %	Nilai FAS = 0,4
5.	<i>Admixture</i>		Sesuai kondisi lapangan

2. Rekapitulasi Hasil Wawancara di *Site Project*

Wawancara di *site* dilakukan kepada *project manager*. Dalam tahap ini, data yang cukup penting untuk didapatkan adalah data pengecoran di *site*.

Tabel 4. Rekapitulasi Laporan Pengecoran

	Volume / truck		Volume / truck
Tanggal = 9 April 2016	7 m ³	Tanggal = 18 Juni 2016	8 m ³
	8 m ³		8 m ³
Total = 38 m ³	7 m ³	Total = 38 m ³	6 m ³
	8 m ³		8 m ³
	8 m ³		8 m ³

Sumber= Cash Sales Order

Tabel 5. Daftar Peralatan dan Jumlah Alat Pengecoran

No.	Alat-Alat Pengecoran	Jenis Bahan Bakar	Jumlah Alat/Pengecoran	Jumlah Bahan Bakar/Pengecoran
1	<i>Truck mixer</i>	Solar	5	Dari <i>batching plant</i>
2	<i>Concrete pump</i>	Solar	2	Dari <i>batching plant</i>
3	<i>Vibrator</i>	Bensin	1	± 3 liter

3. Rekapitulasi Hasil Pengamatan Langsung

Data-data yang diperoleh dari hasil wawancara tersebut mengenai *waste* dan *carbon footprint* kemudian divalidasi dengan pengamatan langsung di lapangan. Pengamatan ini dilakukan terhadap 48 *dump truck pasir*, 33 *dump truck kerikil*, 8 mobil semen, 9 siklus *wheel loader*, dan 35 *truck mixer*.

Tabel 6. Hasil Pengamatan Langsung Besaran *Waste* di *Batching plant*

Tahap = Pengadaan material sampai <i>stock pile</i> (penyimpanan)				
Material	Tingkat kepercayaan	Volumen Pengangkutan [m ³]	Volume Waste [m ³]	Jumlah Bahan Bakar [Liter/Angkutan]
Pasir	75%	9,105	0,021	17,410
Kerikil	75%	13,477	0,004	18,479
Semen	80%	28,107	0,000	263,579
Tahap = <i>Loading</i> material ke tungku				
Material	Tingkat kepercayaan	Volume Waste [%/bucket]	Jumlah Bahan Bakar [liter/Bucket]	
Pasir	80%	0,019	1,8	
Kerikil	80%	0,006		
Tahap = Pengadukan beton dengan sistem <i>dry</i>				
Material	Tingkat kepercayaan	Volume Waste [%/m ³]	Jumlah Bahan Bakar [liter/TM]	
Campuran Pasir & Kerikil	75%	0,004	4,624	
Tahap = Pencucian <i>truck mixer</i>				
Material	Tingkat kepercayaan	Volume Waste [%/TM]		
Beton bercampur air	80%	11,052		
Tahap = Transportasi <i>truck mixer</i>				
Material	Tingkat kepercayaan	Jumlah Bahan Bakar [liter/TM]		
Beton <i>ready mix</i>	75%	0,758		
Tahap = Transportasi <i>truck mixer</i>				
Material	Tingkat kepercayaan	Jumlah Bahan Bakar [liter/TM]		
Beton <i>ready mix</i>	75%	8,048		

HASIL DAN PEMBAHASAN

Waste

Dari data-data hasil wawancara dan hasil pengamatan langsung kemudian dilakukan analisis perhitungan untuk dapat diketahui volume *waste* yang dihasilkan. Hasil yang digunakan dalam pembahasan adalah hasil yang diperoleh dari pengamatan langsung. Tidak digunakannya hasil wawancara yang berupa prediksi karena hasil dari pengamatan langsung menghasilkan simpangan data yang tidak terlalu jauh sehingga data yang diterima dianggap cukup seragam dibanding dengan data wawancara yang hanya berasal dari sudut pandang. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan total volume *waste* pada pekerjaan beton *ready mix* di mulai dari tahap pengadaan material sampai tahap pengecoran pada Proyek Rusun Marga Jaya adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Total Volume *Waste*

Jenis Material	Tahap Pengadaan Material	Tahap Loading Material	Tahap <i>Mixing</i>	Tahap Transportasi	Tahap Pencucian	Tahap Pengecoran	Volume <i>Waste</i>
	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]
Pasir	0,0423	0,0018	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0441
Kerikil	0,0153	0,0005	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0158
Pasir & Keikil	0,0000	0,0000	0,0023	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023
Beton <i>Ready Mix</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,3200	0,0000	5,7170	6,0370
Beton bercampur air	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	8,3997	0,0000	8,3997

Tabel 8. Perhitungan *Wastage Level*

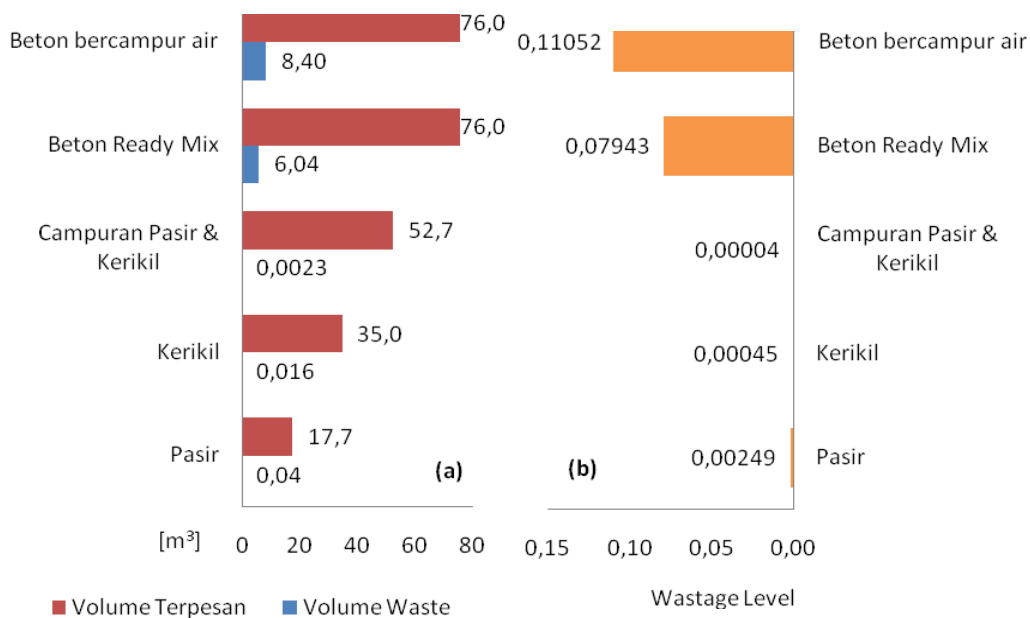
Volume <i>Waste</i>	Volume Terpesan	<i>Wastage Level</i>
[m ³]	Material	[m ³]
0,0441	Total Komposisi Pasir seluruh Pengecoran	17,7
0,0158	Total Komposisi Kerikil seluruh Pengecoran	35,0
0,0023	Total Komposisi Pasir + Kerikil seluruh Pengecoran	52,7
6,0370	Total Pemesanan Beton <i>Ready Mix</i>	76,0
8,3997	Total Pemesanan Beton <i>Ready Mix</i>	76,0
		4,35 x 10 ⁻⁵
		0,0794
		0,1105

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di *batching plant* PT. Pionirbeton Industry Yogyakarta ini, sumber *waste* yang pertama yaitu pada tahap pencucian silinder *truck mixer*. *Waste* yang terjadi yaitu berupa beton yang telah bercampur air. Total *waste* pada tahap ini yaitu 8,400 m³ beton yang telah bercampur air. Berdasarkan wawancara dan survei pada *batching plant* PT. Pionirbeton Industry Yogyakarta ini, terdapat 4 (empat) sumber *waste* yang lain.

Sumber yang pertama yaitu pada tahap pengadaan material sampai di *stock pile*. *Waste* yang terjadi yaitu berupa agregat yang menempel pada dinding-dinding dan alas *truck*. Total *waste* pada tahap ini yaitu 0,0423 m³ untuk pasir dan 0,0153 m³ untuk kerikil. Sumber yang kedua yaitu pada tahap *loading* material sampai ke tungku (*pan mixer*). *Waste* yang terjadi yaitu berupa agregat yang tercecer selama *loading* menggunakan *wheel loader*. Total *waste* pada tahap ini yaitu 0,00178 m³ untuk pasir dan 0,0005 m³ untuk kerikil.

Sumber selanjutnya yaitu pada tahap *mixing* material beton dengan *dry system*. *Waste* yang terjadi yaitu berupa agregat yang tercecer selama berada di konveyor dan di corong. Total *waste* pada tahap ini yaitu $0,0023 \text{ m}^3$ untuk campuran pasir dan kerikil. Sumber yang terakhir yaitu pada tahap transportasi *truck mixer* menuju *site project*. *Waste* yang terjadi yaitu berupa beton *ready mix* yang tercecer selama perjalanan. Total *waste* pada tahap ini yaitu $0,320 \text{ m}^3$ beton *ready mix*.

Menurut Wiguna et al. (2009), pada *site project*, *waste* dari pekerjaan konstruksi diidentifikasi dengan cara mencari selisih volume material masuk dan volume material terpakai sehingga pada penelitian sebelumnya didapat *waste* berupa material beton sebesar 2,5% (Rachmawati & Khanif, 2013); 5,3% (Reddrop dan Ryan, 1997) dan 13% (Boosink dan Brouwes, 1996) dari total *waste* di proyek. Dengan cara tersebut, dalam penelitian ini didapatkan *waste* berupa material beton *ready mix* sebesar $5,717 \text{ m}^3$. Untuk mengetahui bagaimana posisi suatu jenis *waste* terhadap *waste* lainnya maka berikut ini disajikan grafik mengenai *wastage level* pekerjaan beton *ready mix*.

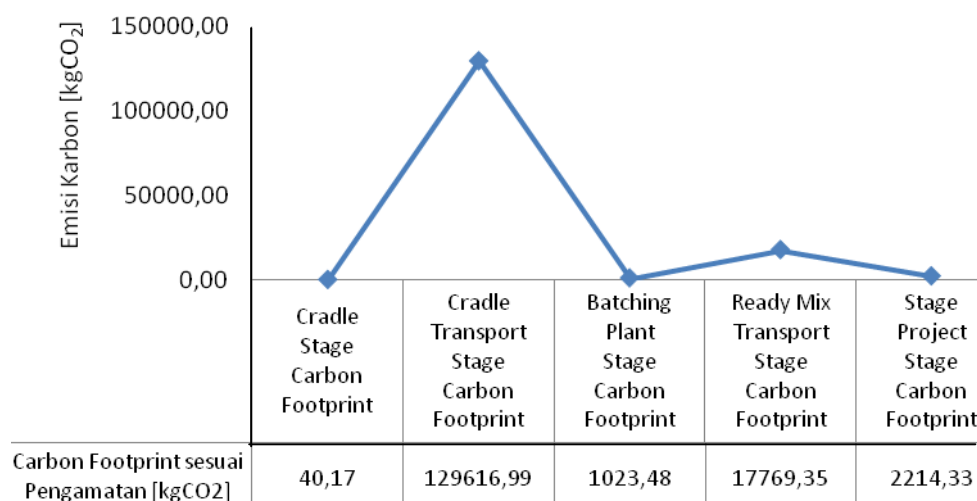


Gambar 2. Grafik Hasil Rekapitulasi (a) Total Waste dan (b) Wastage Level

Carbon Footprint

Dari data-data hasil wawancara dan hasil pengamatan langsung kemudian dilakukan analisis perhitungan untuk dapat diketahui volume *carbon footprint* yang dihasilkan. Hasil yang digunakan dalam pembahasan adalah hasil yang diperoleh dari pengamatan langsung. Tidak digunakannya hasil wawancara yang berupa prediksi karena hasil dari pengamatan langsung menghasilkan simpangan data yang tidak terlalu jauh sehingga data yang diterima dianggap cukup seragam dibanding dengan data wawancara yang hanya berasal dari sudut pandang. Volume *carbon footprint* yang dihitung berdasarkan faktor emisi tiap sumber daya yang digunakan.

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan total volume *carbon footprint* pada pekerjaan beton *ready mix* di mulai dari *cradle* sampai *site project* pada Proyek Rusun Marga Jaya adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Rekapitulasi Hasil Perhitungan Total Volume *Carbon Footprint*

Dari grafik tersebut diketahui bahwa pada di *cradle transport stage* menempati posisi pertama dari keseluruhan total emisi karbon yang dihasilkan dari tahap *cradle* hingga *site project*. Besarnya emisi karbon di *cradle transport stage* yaitu 129616,99 KgCO₂. Emisi karbon ini disebabkan oleh jarak tempuh kendaraan untuk sampai di *batching plant* sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar yang besar. Emisi karbon terbesar kedua adalah pada *ready mix transport stage*, yaitu sebesar 17769,35 KgCO₂. Pada tahap ini emisi karbon bersumber dari konsumsi jumlah bahan bakar yang digunakan oleh *truck mixer* dari *batching plant* menuju *site project*. Selanjutnya emisi karbon bersumber pada *site project stage*, pada tahapan ini emisi karbon yang ditimbulkan sebesar 2214,33 KgCO₂. Pada tahap ini emisi karbon yang bersumber dari penggunaan alat – alat bantu pengecoran misalnya *vibrator*, *concrete pump* dan *truck mixer*.

Sedangkan pada *batching plant stage*, emisi karbon bersumber dari penggunaan alat untuk proses *mixing* beton *ready mix*, yaitu *truck mixer*, pompa air, *job mix*, dan *wheel loader*. Emisi karbon pada *batching plant stage* adalah sebesar 1023,48 KgCO₂. Emisi karbon yang paling kecil dihasilkan pada *cradle stage*, yaitu sebesar 40,17 KgCO₂. Emisi karbon yang ditimbulkan pada tahap ini bersumber dari proses manufaktur material penyusun beton. Sehingga dari pembahasan-pembahasan di atas dapat diketahui total *carbon footprint* dari pekerjaan beton *ready mix* dari tahap *cradle* hingga *site project* adalah sebesar 150664,31 kg CO₂.

Penilaian Green Construction

Dalam Abduh et al. (2014), penilaian *green construction* terdiri dari 3 (tiga) aspek, yaitu *Green Supply Chain*, *Green Construction Process* dan *Green Behavior and Practices*. Dalam pekerjaan beton *ready mix* ini, kami mengklasifikasikan aspek-aspek tersebut dalam bentuk pendekatan satu dengan yang lainnya dalam beberapa indikator. Indikator dan pendekatan

yang digunakan sesuai dengan hasil pengamatan lapangan yang diperoleh. Penilaian *green construction* dalam pekerjaan beton *ready mix* adalah sebagai berikut ini.

Nilai hasil dari penilaian *green construction* adalah sebesar 2,25 yang artinya predikat *green construction* sesuai dengan Abduh et al. (2014) yaitu 'Enabling'. Dalam pengertiannya predikat ini menyatakan bahwa dalam faktor *Waste Management* dan *Reduction of ecological footprint at construction phase* (sesuai Soemardi, et al., 2015) dinyatakan sanggup dan memungkinkan menerapkan konsep *green construction* pada pekerjaan beton *ready mix*.

KESIMPULAN

Hasil analisa menunjukkan bahwa volume *waste* yang dihasilkan selama pekerjaan beton *ready mix* pada proyek konstruksi gedung, studi kasus *batching plant* PT. Pionirbeton Industry Yogyakarta dan Proyek Pembangunan Rusun Pegawai Marga Jaya adalah sebagai berikut *Waste* beton bercampur air dengan total 8,40 m³ dan *wastage level* sebesar 0,111. *Waste* beton *ready mix* dengan total 6,037 m³ dan *wastage level* 0,079. *Waste* material pasir dengan total 0,044 m³ dan *wastage level* 0,00249. *Waste* material kerikil dengan total 0,016 m³ dan *wastage level* 0,00045. *Waste* material campuran pasir dan kerikil dengan total 0,0023 m³ dan *wastage level* 0,00004.

Sedangkan hasil analisa menunjukkan bahwa volume *carbon footprint* yang dihasilkan selama pekerjaan beton *ready mix* pada proyek konstruksi gedung, studi kasus *batching plant* PT. Pionirbeton Industry Yogyakarta dan Proyek Pembangunan Rusun Pegawai Marga Jaya adalah sebesar 150664,31 kgCO₂ dengan rincian sebagai berikut: *cradle transport stage* sebesar 129616,99 KgCO₂, *ready mix transport stage* sebesar 17769,35 KgCO₂, *site project stage* sebesar 2214,33 KgCO₂, *batching plant stage* sebesar 1023,48 KgCO₂, *cradle stage* sebesar 40,17 KgCO₂.

Nilai hasil dari penilaian *green construction* adalah sebesar 2,25 (*Enabling*) sehingga dinyatakan sanggup dan memungkinkan menerapkan konsep *green construction* pada pekerjaan beton *ready mix*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada redaksi dan reviewer jurnal ini yang telah memberikan koreksi dan masukan bagi penyempurnaan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M., Ervianto, W. I., Chomistriana, D., & Rahardjo, A., 2014. *Green Construction Assessment Model for Improving Sustainable Practices of the Indonesian Government Construction Projects. Sustainability, Green and Lean*, (hal. 114-116). Oslo, Norway.
- Bossink & Brouwers, 1996. *Construction Waste: Quantification and Source Evaluation*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol 122.
- Construction Industry Council, 2014. *Carbon Labelling Scheme for Construction Products, Assessment Guide: Ready-mixed Concrete*, Kowloon, Hong Kong, Zero Carbon Building Ltd.

- Ervianto, W.I., 2012. *Selamatkan Bumi Melalui Konstruksi Hijau*, Penerbit Andi: Yogyakarta.
- Ervianto, W.I. Soemardi, Biemo W. Abduh, Muhamad & Surjamanto, 2013. *Kajian Kerangka Legislatif Penerapan Green Construction Dalam Proyek Bangunan Gedung Di Indonesia (S3)*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- NRMCA, 2012. *Concrete CO₂ Fact Sheet*, a report published by the NRMCA in 2012.
- Parliamentary Office of Science and Technology, 2006. *Carbon footprint of electricity generation*, POSTnote268, October 2006, London, UK.
- Rachmawati & Khanif, 2014. *Evaluasi Waste material pada Proyek Berbasis Konsep Green Construction dan Proyek Konvensional*, Laporan Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ratnasari, Tri, 2014. *Studi Mengenai Construction Waste pada Proyek Konstruksi di Surakarta*, Laporan Tugas Akhir, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Reddrop, A. & Ryan, C., 1997. *Housing Construction Waste: a Research Study by The National Key Centre for Design at RMIT*, Commonwealth Department of Industry, Science and Tourism, USA.
- RMCAO, 2011. www.rmcao.org: *Concrete and Sustainable development* (dikunjungi, 12.00, 19 Juni 2016).
- Sakai, K., 2008. *Sustainability in the concrete sector: CO₂ reduction scenarios*, Koji Sakai, Kagawa University, Takamatsu-Japan, A journal of Sustainability, Concrete Engineering International.
- Sinulingga, Jef Franklyn, 2012. *Studi Mengenai Hambatan-Hambatan Penerapan Green Construction Pada Proyek Konstruksi di Yogyakarta*, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Soemardi, B. W., & Ervianto, W, 2015. *Development of Green Construction Assessment Model for Building Project. Implementing Innovative Ideas in Structural Engineering and Project Management* (hal-797).
- TCG-JSCE, 2009. *Recycling Concrete-The Present State and Future Prospective*. (TCG-JSCE Joint Seminar, 20 November Atena), Japan, Kagawa University.
- Wiedmann, T. And Minx, J., 2008. *A Definition of 'Carbon Footprint'*. In: C. C. Pertsova *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11*, Nova Science Publishers, New York.
- Wiguna, Putu Artama. Rachmawati, Farida. dan Haposan, Jermias, 2009. *Identifikasi Material waste pada Proyek Konstruksi-Studi Kasus Ruko San Diego Pakuwon City Surabaya*. (Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2009). Laboratorium Manajemen Konstruksi Jurusan Teknik Sipil ITS, ISBN 978-979-18342-1-6, Surabaya.