

Estimasi Emisi CO₂ Pada Pekerjaan Perakitan Baja Tulangan dengan Ruang Lingkup *Gate To Install*

(Studi Kasus Pada Proyek Bangunan Tingkat Tinggi di Surabaya)

Liem Kresna Mulia; Arvin Philander Cahyono; Hermawan; Endro Giyanto
email: arvinmaster5@yahoo.com

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur Semarang 50234, 024-8441555

Abstract

Reinforcing steel is one of the major construction materials which produces significant CO₂ emission. In addition, reinforcing steel is also the main material in various construction Project type. Type of construction project which uses large amounts of reinforcing steel is high-rise buildings. The growth of high-rise buildings almost all over the world tend to increase. The tendency can be shown in Indonesia which has a total of 621 high-rise buildings. With this amount, Indonesia is one of 10 countries which have a significant tendency in the growth of high-rise buildings. Furthermore, the large and small of CO₂ emission of reinforcing steel is indicated sourced from the supply chain as well. Hereafter, the reinforcing steel on the site needs some heavy equipment such as bar bending, bar cutter and transportation using tower cranes. The contribution of CO₂ emission from the supply chain and install on site becomes important as it contributes in shaping cycles within the construction project. The existence of such cycles can be shown by the source and the amount of CO₂ emission produced by each step. By using LCA, the source and amount of CO₂ emission from each step can be found. The scope developed in this research is cradle to install. The result of the research shows that the size of CO₂ emission in the cradle section range from 99 kg.CO₂/m³-171 kg.CO₂/m³. Furthermore, the size of CO₂ emission in the supply chain section ranges from 10 kg.CO₂ / m³-21 kg.CO₂/m³. The size of CO₂ emission ranges between 1 kg.CO₂/m³-5 kg.CO₂/m³. The result of the research is that reinforcing steel cradle is the biggest source of CO₂ emission. The CO₂ emission on the site is the smallest compared to the cradle and supply chain, but they cannot be ignored because they also contribute to and make a big determinant of CO₂ emission in the construction project.

Keyword: CO₂, emission, steel, supply chain, high-rise buildings

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Seiring berkembangnya jaman, kesadaran masyarakat akan pengaruh dari pembangunan konstruksi bangunan juga semakin meningkat. Banyak faktor yang mempengaruhi keadaan lingkungan sekitar akibat proses pembangunan konstruksi. Salah satu hasil dari proses pembangunan konstruksi adalah CO₂.

Dengan tingginya emisi CO₂ yang dihasilkan dari proses pembangunan konstruksi bangunan, maka semakin tinggi pula dampak yang diberikan kepada lingkungan sekitar. Dampak yang dihasilkan yaitu bertambahnya jumlah gas rumah kaca di atmosfer bumi.

1.2 Lokasi Proyek dan Data Teknis

Lokasi proyek yang menjadi lokasi penelitian adalah:

1. Nama Proyek : *The 100 Residence*

- Alamat :Jl. Raya Gubeng No.
102-106, Surabaya
Kontraktor :PT. Mitralanggeng
Prama Konstruksi
Jumlah Lantai :30 lantai
Ketinggian :112,2 meter
2. Nama Proyek :Benson Tower 6
Alamat :Supermal Pakuwon
Indah, Surabaya
Kontraktor :PT. Mitralanggeng
Prama Konstruksi
Jumlah Lantai :40 Lantai
Ketinggian : 155,4 meter

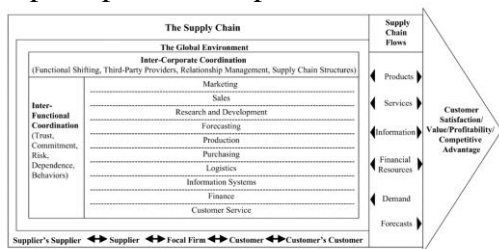
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengestimasi emisi CO₂ pada pekerjaan perakitan baja tulangan untuk konstruksi bangunan tingkat tinggi dengan studi kasus beberapa proyek di Surabaya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rantai Pasok

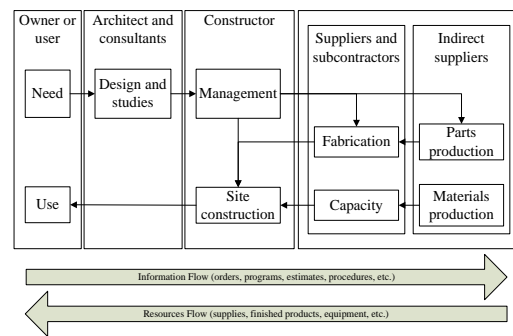
Rantai pasok/ *Supply Chain* dapat didefinisikan sebagai serangkaian kegiatan yang terdiri dari koordinasi, penjadwalan, dan pengendalian terhadap pengadaan. Selanjutnya kegiatan tersebut berkontribusi terhadap produksi, persediaan, dan pengiriman produk ataupun layanan jasa kepada pelanggan. Berdasarkan definisi tersebut, maka prinsip *Supply Chain* dapat diperlihatkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Bagan Alur *Supply Chain* (Sumber: Mentzer,2001)

Rantai pasok konstruksi diinterpretasikan sebagai sebuah *extended enterprise* yang terdiri dari beberapa perusahaan yang masing – masing mempunyai fungsi secara

khusus. Perusahaan yang tergabung tersebut, bekerja layaknya sebuah pabrik tanpa batas dan berkolaborasi sebagai sebuah jaringan (Cooper dan Rousseau, 1999). 3 komponen utama rantai pasok konstruksi adalah spesifikasi, desain, dan praktik rekayasa termasuk penentuan berbagai macam material konstruksi dan arus informasi dari berbagai pihak. Kontribusi dari berbagai macam pihak yang terlibat di dalam rantai pasok konstruksi diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model Umum Rantai Pasok Konstruksi (Sumber: Vrijhoef dan Koskela, 2000)

Ada pula beberapa perbedaan yang signifikan antara rantai pasok manufaktur dengan rantai pasok konstruksi. Beberapa perbedaan tersebut diperlihatkan pada Tabel 2.1.

No	Komponen Proses	Manufaktur	Konstruksi
1	Sistem produksi	Berbasis pabrik	Berbasis proyek
2	Organisasi pengolahan sistem produksi	Bersifat tetap	Bersifat sementara
3	Transaksional	Pemenuhan pasar, jangka panjang	Kontrak ad-hoc, jangka pendek
4	Proses produksi	Lebih kontinyu	Sesuai permintaan
5	Koridor produk	Lebih sempit monolit	Lebih luas
6	Pemasok	Lebih terbuka, sangat ketat dengan nilai	Dibawa oleh pemasok vokalnya

Tabel 2.1 Perbedaan Praktik Rantai Pasok Manufaktur dan Konstruksi (Sumber: Azambuja dan O'Brien, 2009)

2.2 Life Cycle Assessment (LCA)

Siklus hidup sebuah material mempresentasikan dari tahap manufaktur, penggunaan dan perawatan hingga pembuangan akhir material. Latar belakang *life cycle assessment* adalah adanya kesadaran manusia terhadap dampak yang dihasilkan dari siklus hidup sebuah material terhadap

lingkungan. Secara keseluruhan LCA memperlihatkan tentang dampak yang dihasilkan kepada lingkungan dari proses pengolahan material mentah hingga bentuk akhir material setelah digunakan.

Metode LCA yang digunakan untuk membantu proses estimasi adalah *gate to install*. Jenis metode LCA ini adalah bentuk yang lebih ramping, dengan cakupan yang lebih kecil, yaitu mulai dari proses pengiriman material baja tulangan dari pihak distributor, hingga proses perakitan dan pemasangan di lapangan.

2.3 Model Formula Matematika Perhitungan Emisi CO₂

Formula perhitungan emisi CO₂ secara keseluruhan adalah:

$$E_T = E_{PBT} + E_{MBT} + E_{RPBT} + E_{TTC}$$

Keterangan:

E_T = emisi CO₂ total pada pelaksanaan pekerjaan struktur atas beton bertulang untuk konstruksi bangunan tingkat tinggi (kg.CO₂)

E_{PBT} = emisi CO₂ yang dihasilkan oleh mesin produksi di perakitan baja tulangan (kg.CO₂)

E_{MBT} = emisi CO₂ akibat penggunaan baja tulangan untuk keperluan struktural (kg.CO₂)

E_{RPBT} = emisi CO₂ yang dihasilkan oleh rantai pasok baja tulangan (kg.CO₂)

E_{TTC} = emisi CO₂ yang dihasilkan oleh model *Tower Crane* (TC) (kg.CO₂)

Faktor yang diasumsikan	Notasi untuk faktor yang diasumsikan	Besaran faktor yang diasumsikan	Sumber
Faktor penggunaan bahan bakar untuk moda transportasi bermesin diesel	M	0,04 gal/Hp.Hr	Peunifoy dan oberlender, 2005
Faktor emisi CO ₂ bahan bakar solar	FE _{BB}	74.100 kg.CO ₂ /TJ	Kementenan Lingkungan Hidup, 2012
Faktor emisi CO ₂ bahan bakar solar	FE _{BB}	10,85 kg CO ₂ /gal	Konversi Satuan Berdasarkan www.convertunits.com (1 TJ = 6.825,006825 gal)

Tabel 2.2 Daftar Asumsi yang Digunakan Untuk Estimasi Emisi CO₂ pada Rantai Pasok Konstruksi

Formula perhitungan emisi CO₂ dari proses penggunaan mesin perakitan baja tulangan:

$$E_{PBT} = P_t \cdot t_t \cdot M \cdot (FE_{BB} \text{ atau } FE_L)$$

Keterangan:

E_{PBT} = emisi CO₂ yang dihasilkan mesin produksi di perakitan baja tulangan (kg.CO₂)

P_t = kapasitas mesin (*bar cutter* dan *bar bender*) (Hp)

t_t = waktu tunggu (Hr)

M = faktor penggunaan bahan bakar untuk moda transportasi mesin diesel (0,04 gal/Hp.Hr)

FE_{BB} = faktor emisi bahan bakar solar (10,85 kg.CO₂/gal)

FE_L = faktor emisi listrik untuk Jawa Madura Bali (0,842kg.CO₂/kW Hr)

Formula Perhitungan Emisi CO₂ Keperluan Struktural Baja Tulangan:

$$E_{MBT} = e_{BT} \cdot V_{BT}$$

Keterangan:

E_{MBT} = emisi CO₂ akibat penggunaan baja tulangan untuk keperluan struktural (kg.CO₂)

e_{BT} = faktor emisi CO₂ baja tulangan (kg.CO₂/kg)

V_{BT} = volume baja tulangan yang dibeli oleh proyek (kg)

Material	Faktor emisi CO ₂	Sumber
Baja tulangan (eg7)	0,3962 kg.CO ₂ /kg	Park dkk. (2014)

Tabel 2.3 Faktor Emisi CO₂ Baja Tulangan

(Sumber: Hermawan, 2017)

Formula perhitungan emisi CO₂ yang dihasilkan dari rantai pasok baja tulangan:

$$E_{RPBT} = \sum_{l=1; m=1}^{l=4; m=3} (P \cdot t)_{l,m} \cdot M \cdot FE_{BB} + \sum_{n=0}^{n=1} P_n \cdot t_n \cdot M \cdot FE_{BB}$$

Keterangan:

E_{RPBT} = emisi CO₂ yang dihasilkan oleh rantai pasok baja tulangan (kg.CO₂)

$P_{l,m}$ = kapasitas mesin *truck trailer* (Hp)

$t_{l,m}$ = kecepatan *truck trailer* (Hr)

l = jumlah anggota rantai pasok baja tulangan

- m = jumlah *truck trailer* yang digunakan dalam rantai pasok baja tulangan
- P_n = kapasitas mesin kapal *cargo* dan *container* (Hp)
- t_n = waktu tempuh kapal *cargo* dan *container* (Hr)
- n = jumlah kapal *cargo* dan *container* yang digunakan dalam rantai pasok baja tulangan
- M = faktor penggunaan bahan bakar untuk moda transportasi bermesin diesel (0,04 gal/Hp.Hr)
- FE_{BB} = faktor emisi CO₂ bahan bakar solar (10,15 kg.CO₂/gal)

Jumlah anggota rantai pasok baja tulangan	Anggota rantai pasok baja tulangan
4	Penyedia bahan mentah → pemasok produsen → produsen → fabrikator → distributor → konsumen
3	Penyedia bahan mentah → pemasok produsen → produsen → fabrikator → konsumen
3	Penyedia bahan mentah → pemasok produsen → produsen → distributor → konsumen
2	Penyedia bahan mentah → pemasok produsen → produsen → konsumen

Tabel 2.4 Jumlah Rantai Pasok Baja Tulangan

(Sumber: Hermawan, 2017)

Formula matematika untuk model *Tower Crane*:

$$E_{TTC} = E_{TC.1} + E_{TC.2} + E_{TC.3} + E_{TC.4} + E_{TC.5} + E_{TC.6} + E_{TC.7} + E_{TC.8}$$

Keterangan:

- E_{TTC} = emisi CO₂ yang dihasilkan oleh model TC (kg.CO₂)
- $E_{TC.1}$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari waktu muat baja tulangan ke *hook* (kg.CO₂)
- $E_{TC.2}$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari waktu angkat *hook* kondisi terisi (kg.CO₂)
- $E_{TC.3}$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari waktu manuver kondisi *hook* terisi (kg.CO₂)
- $E_{TC.4}$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari waktu turun kondisi *hook* terisi (kg.CO₂)
- $E_{TC.5}$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari waktu peletakan baja tulangan (kg.CO₂)

- $E_{TC.6}$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari waktu angkat *hook* kondisi kosong (kg.CO₂)
- $E_{TC.7}$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari waktu manuver kembali ke lokasi perakitan dengan kondisi *hook* kosong (kg.CO₂)
- $E_{TC.8}$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari waktu turun *hook* untuk siap mengisi lagi (kg.CO₂)

Faktor yang diasumsikan	Notasi untuk faktor yang diasumsikan	Besaran faktor yang diasumsikan	Sumber
Waktu tunggu mesin diesel	k_r	0,3	Lewis, 2012
Emisi bahan bakar listrik	FE_L	0,842 kg.CO ₂ /kW jam	Surat Penyampaian Faktor Emisi GRK Subsektor Ketenagalistrikan, 2016

Tabel 2.5 Daftar Asumsi yang Digunakan Untuk Estimasi Emisi CO₂ pada Pelaksanaan Operasi Pengecoran Struktur Atas Beton Bertulang pada KBTT

(Sumber: Hermawan, 2017)

$$E_{TC} = P_{TC} \cdot t_{TC} \cdot FE_L$$

Keterangan:

- $E_{TC.1}$ = emisi CO₂ yang dihasilkan dari waktu muat baja tulangan ke *hook* (kg.CO₂)
- P_{TC} = kapasitas mesin TC (Hp)
- $t_{TC.1}$ = waktu muat baja tulangan ke *hook* (Hr)
- FE_L = faktor emisi listrik untuk Jawa Madura Bali (0,842 kg.CO₂/kW Hr)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum

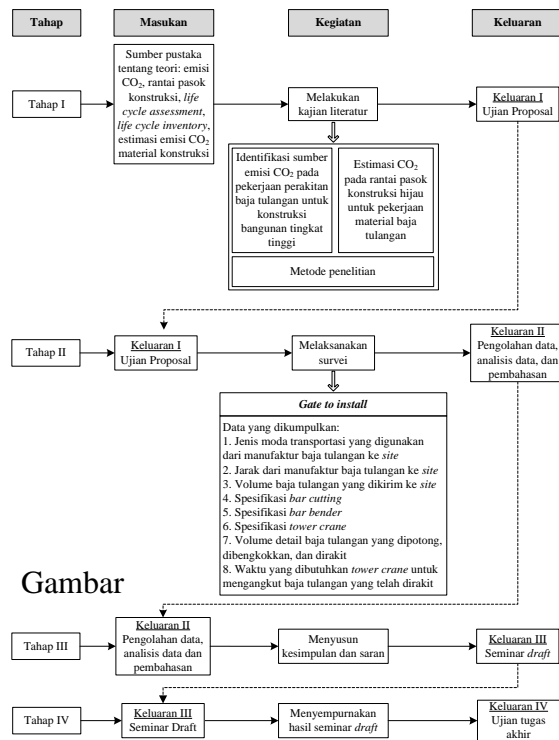
Penelitian ini terdiri dari 4 tahapan yaitu:

1. Tahapan I, meliputi kajian literatur dengan keluaran ujian proposal,
2. Tahapan II, merupakan kegiatan lanjutan dari ujian proposal yaitu pengolahan data, analisis data, dan pembahasan,
3. Tahapan III, merupakan kegiatan penyusunan kesimpulan dan saran.

Tahapan ini memiliki keluaran seminar *draft*,

- Tahapan IV, merupakan tahapan akhir dengan keluaran tugas akhir. Setelah ujian tugas akhir selesai, revisi dilakukan guna menjadikan laporan tugas akhir menjadi lebih sempurna.

Tahapan diatas diperlihatkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Metodologi Penelitian

3.1. Metodologi Penelitian

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Estimasi Emisi CO₂ yang Dihasilkan Oleh Rantai Pasok Konstruksi (Perjalanan dari pabrik baja tulangan ke *site*)

Jarak dan waktu tempuh *truck* antara pabrik hingga lokasi *site* proyek *The 100 Residence* dan proyek *Benson Tower 6* didapatkan menggunakan *google map*. Data rantai pasok proyek *The 100 Residence* diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Rantai Pasok Proyek *The 100 Residence*

Merk <i>Truck</i>	Tenaga mesin (HP)	Lama Waktu Perjalanan	Jarak Pabrik ke <i>Site</i> (km)	Bahan Bakar
Hino	256	1 jam 39 menit	28,1	Solar

Data rantai pasok proyek *Benson Tower 6* diperlihatkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Rantai Pasok Proyek *Benson Tower 6*

Merk <i>Truck</i>	Tenaga mesin (HP)	Lama Waktu Perjalanan	Jarak Pabrik ke <i>Site</i> (km)	Bahan Bakar
Hino	256	1 jam 46 menit	30,1	Solar

Hasil perhitungan Estimasi Emisi CO₂ pada proyek *The 100 Residence* diperlihatkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Estimasi Emisi CO₂ Rantai Pasok Proyek *The 100 Residence*

	L	M	P _{tan}	t _{tan}	M	FE _{BB}	P _n	T _n	E _{total}
<i>The 100 residence</i>	1	101	256	1,77	0,04	10,15	0	0	18.590,6

Hasil perhitungan Estimasi Emisi CO₂ pada proyek *Benson Tower 6* diperlihatkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Estimasi Emisi CO₂ Rantai Pasok Proyek *Benson Tower 6*

	L	M	P _{tan}	t _{tan}	M	FE _{BB}	P _n	T _n	E _{total}
<i>Benson Tower 6</i>	1	379	256	1,65	0,04	10,15	0	0	64.996,4

4.2 Perhitungan Estimasi Emisi CO₂ yang Dihasilkan Oleh Mesin Produksi Pada Pekerjaan Konstruksi

Mesin yang digunakan proyek *The 100 Residence* dan proyek *Benson Tower 6* untuk pekerjaan konstruksi adalah *bar cutter* dan *bar bender*. Hasil Survei untuk penggunaan *bar cutter* di proyek *The 100 Residence* diperlihatkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Survei *Bar Cutter* pada
Proyek *The 100 Residence*

No.	Frekuensi potong	Ukuran (mm)	Jumlah (batang)	Waktu potong (detik)	Waktu Tunggu (detik)
1	6	10' @ 180cm	5	152	-
2	6	10' @ 180cm	5	156	12
3	6	10' @ 180cm	6	162	16
4	6	10' @ 180cm	6	160	18
5	6	10' @ 180cm	6	159	17
6	6	10' @ 180cm	6	161	19
7	4	10' @ 280cm	10	128	20
8	4	10' @ 280cm	10	124	13
9	4	10' @ 280cm	8	119	18
10	4	10' @ 280cm	8	118	19
11	4	10' @ 280cm	8	121	21
12	4	10' @ 280cm	8	119	10
13	2	10' @ 400cm	10	64	13
14	2	10' @ 400cm	8	42	18
15	2	10' @ 400cm	10	56	16
16	2	10' @ 400cm	8	52	21
17	2	10' @ 400cm	10	60	22
18	2	10' @ 400cm	10	62	26
19	4	10' @ 265cm	12	294	18
20	4	10' @ 265cm	10	191	19
21	4	10' @ 265cm	10	205	20
22	4	10' @ 265cm	10	199	14
23	4	10' @ 265cm	10	202	23
24	4	10' @ 265cm	10	207	13
25	6	10' @ 175cm	10	181	17
26	6	10' @ 175cm	8	157	19
27	6	10' @ 175cm	8	149	17
28	6	10' @ 175cm	8	161	16
29	6	10' @ 175cm	8	155	21
30	6	10' @ 175cm	8	157	-

Hasil Survei untuk penggunaan *bar cutter* di proyek *Benson Tower 6* diperlihatkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Survei *Bar Cutter* pada
Proyek *Benson Tower 6*

No.	Frekuensi potong	Ukuran (mm)	Jumlah (batang)	Waktu Potong (detik)	Waktu Tunggu (detik)
1	13	10' @ 50cm	8	216	-
2	13	10' @ 50cm	6	217	15
3	13	10' @ 50cm	8	220	13
4	13	10' @ 50cm	8	218	12
5	13	10' @ 50cm	10	213	14
6	13	10' @ 50cm	8	210	17
7	13	10' @ 50cm	8	221	10
8	13	10' @ 50cm	8	215	11
9	13	10' @ 50cm	8	214	10
10	13	10' @ 50cm	9	219	13
11	11	10' @ 60cm	10	173	14
12	11	10' @ 60cm	10	169	15
13	11	10' @ 60cm	12	181	13
14	11	10' @ 60cm	10	177	12
15	11	10' @ 60cm	10	172	10
16	11	10' @ 60cm	8	168	14
17	11	10' @ 60cm	10	170	15
18	11	10' @ 60cm	11	179	16
19	11	10' @ 60cm	10	171	10
20	11	10' @ 60cm	8	174	11
21	8	10' @ 80cm	8	194	10
22	8	10' @ 80cm	8	190	12
23	8	10' @ 80cm	8	188	13
24	8	10' @ 80cm	9	190	10
25	8	10' @ 80cm	8	192	10
26	8	10' @ 80cm	8	191	11
27	8	10' @ 80cm	10	194	10
28	8	10' @ 80cm	11	189	15
29	8	10' @ 80cm	10	190	14
30	8	10' @ 80cm	10	185	-

Hasil Survei untuk penggunaan *bar bender* di proyek *The 100 Residence* diperlihatkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Survei *Bar Bender* pada
Proyek *The 100 Residence*

No.	Ukuran (mm)	Jumlah Tekukan	Jumlah (batang)	Waktu Tekuk (detik)	Waktu Tunggu (detik)
1	10' @ 180cm	2	4	5	-
2	10' @ 180cm	2	4	6	12
3	10' @ 180cm	2	5	5	10
4	10' @ 180cm	2	4	6	9
5	10' @ 180cm	2	4	5	10
6	10' @ 180cm	2	4	5	11
7	10' @ 180cm	2	4	6	8
8	10' @ 180cm	2	4	5	10
9	10' @ 180cm	2	4	6	11
10	10' @ 180cm	2	4	5	10
11	10' @ 180cm	2	4	6	10
12	10' @ 180cm	2	4	6	8
13	10' @ 180cm	2	4	6	9
14	10' @ 180cm	2	4	7	9
15	10' @ 180cm	2	4	5	9
16	10' @ 260cm	4	5	10	10
17	10' @ 260cm	4	4	8	8
18	10' @ 260cm	4	4	8	14
19	10' @ 260cm	4	4	7	10
20	10' @ 260cm	4	4	8	9
21	10' @ 240cm	4	3	8	8
22	10' @ 240cm	4	4	7	11
23	10' @ 240cm	4	4	8	12
24	10' @ 240cm	4	4	8	9
25	10' @ 240cm	4	4	8	10
26	10' @ 240cm	4	4	7	11
27	10' @ 240cm	4	4	7	10
28	10' @ 240cm	4	4	8	9
29	10' @ 240cm	4	4	8	9
30	10' @ 240cm	4	5	9	-

Hasil Survei untuk penggunaan *bar bender* di proyek *Benson Tower 6* diperlihatkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Survei *Bar Bender* pada
Proyek *Benson Tower 6*

No.	Ukuran (mm)	Jumlah Tekukan	Jumlah (batang)	Waktu Tekuk (detik)	Waktu Tunggu (detik)
1	10'	5	5	22	-
2	10'	5	5	21	8
3	10'	5	5	22	6
4	10'	5	5	22	8
5	10'	5	5	22	5
6	10'	5	5	21	7
7	10'	5	5	22	6
8	10'	5	5	22	7
9	10'	5	5	22	5
10	10'	5	5	22	8
11	10'	4	4	16	6
12	10'	4	4	16	7
13	10'	4	4	16	5
14	10'	4	4	16	8
15	10'	4	4	16	4
16	10'	4	4	16	6
17	10'	4	4	16	5
18	10'	4	4	16	7
19	10'	4	4	16	5
20	10'	4	4	16	6
21	10'	2	4	9	4
22	10'	2	4	9	7
23	10'	2	4	9	6
24	10'	2	4	9	6
25	10'	2	4	9	5
26	10'	2	4	9	6
27	10'	2	4	9	7
28	10'	2	4	9	6
29	10'	2	4	9	7
30	10'	2	4	9	-

Hasil perhitungan estimasi Emisi CO₂ oleh mesin produksi proyek *The 100 Residence* diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Estimasi Emisi CO₂ Oleh Mesin Produksi Proyek *The 100 Residence*

No	EPBT BC	EPBT BB	EPBT Waktu Tunggu BC	EPBT Waktu Tunggu BB	EPBT
1	0.07821	0.00257	-	-	0.08078
2	0.08027	0.00309	0.00617	0.00617	0.09571
3	0.08336	0.00257	0.00823	0.00515	0.09931
4	0.08233	0.00309	0.00926	0.00463	0.09931
5	0.08181	0.00257	0.00875	0.00515	0.09828
6	0.08284	0.00257	0.00978	0.00566	0.10085
7	0.06586	0.00309	0.01029	0.00412	0.08336
8	0.06380	0.00257	0.00669	0.00515	0.07821
9	0.06123	0.00309	0.00926	0.00566	0.07924
10	0.06072	0.00257	0.00978	0.00515	0.07821
11	0.06226	0.00309	0.01081	0.00515	0.08130
12	0.06123	0.00309	0.00515	0.00412	0.07358
13	0.03293	0.00309	0.00669	0.00463	0.04734
14	0.02161	0.00360	0.00926	0.00463	0.03911
15	0.02882	0.00257	0.00823	0.00463	0.04425
16	0.02676	0.00515	0.01081	0.00515	0.04785
17	0.03087	0.00412	0.01132	0.00412	0.05043
18	0.03190	0.00412	0.01338	0.00720	0.05660
19	0.15128	0.00360	0.00926	0.00515	0.16929
20	0.09828	0.00412	0.00978	0.00463	0.11680
21	0.10548	0.00412	0.01029	0.00412	0.12401
22	0.10240	0.00360	0.00720	0.00566	0.11886
23	0.10394	0.00412	0.01183	0.00617	0.12607
24	0.10651	0.00412	0.00669	0.00463	0.12195
25	0.09313	0.00412	0.00875	0.00515	0.11114
26	0.08079	0.00360	0.00978	0.00566	0.09982
27	0.07667	0.00360	0.00875	0.00515	0.09416
28	0.08284	0.00412	0.00823	0.00463	0.09982
29	0.07976	0.00412	0.01081	0.00463	0.09931
30	0.08079	0.00463	-	-	0.08542
				EPBT Total	2.70039

Hasil perhitungan estimasi Emisi CO₂ oleh mesin produksi proyek Benson *Tower 6* diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil Estimasi Emisi CO₂ Oleh Mesin Produksi Proyek Benson *Tower 6*

No	EPBT BC	EPBT BB	EPBT Waktu Tunggu BC	EPBT Waktu Tunggu BB	EPBT
1	0.11114	0.01132	-	-	0.12246
2	0.11166	0.01081	0.00772	0.00412	0.13430
3	0.11320	0.01132	0.00027	0.00309	0.12788
4	0.11217	0.01132	0.00025	0.00412	0.12786
5	0.10960	0.01132	0.00029	0.00257	0.12378
6	0.10806	0.01081	0.00035	0.00360	0.12281
7	0.11372	0.01132	0.00021	0.00309	0.12833
8	0.11063	0.01132	0.00023	0.00360	0.12578
9	0.11011	0.01132	0.00021	0.00257	0.12421
10	0.11269	0.01132	0.00027	0.00412	0.12839
11	0.08902	0.00823	0.00029	0.00309	0.10063
12	0.08696	0.00823	0.00031	0.00360	0.09910
13	0.09313	0.00823	0.00027	0.00257	0.10421
14	0.09108	0.00823	0.00025	0.00412	0.10367
15	0.08850	0.00823	0.00021	0.00206	0.09900
16	0.08645	0.00823	0.00029	0.00309	0.09805
17	0.08747	0.00823	0.00031	0.00257	0.09859
18	0.09211	0.00823	0.00033	0.00360	0.10427
19	0.08799	0.00823	0.00021	0.00257	0.09900
20	0.08953	0.00823	0.00023	0.00309	0.10108
21	0.09982	0.00463	0.00021	0.00206	0.10672
22	0.09777	0.00463	0.00025	0.00360	0.10625
23	0.09674	0.00463	0.00027	0.00309	0.10472
24	0.09777	0.00463	0.00021	0.00309	0.10569
25	0.09879	0.00463	0.00021	0.00257	0.10620
26	0.09828	0.00463	0.00023	0.00309	0.10622
27	0.09982	0.00463	0.00021	0.00360	0.10826
28	0.09725	0.00463	0.00031	0.00309	0.10528
29	0.09777	0.00463	0.00029	0.00360	0.10629
30	0.09519	0.00463	-	-	0.09982
				Epbt Total	3.32887

4.3 Perhitungan Estimasi Emisi CO₂ Oleh Penggunaan Tower Crane

Hasil Survei untuk penggunaan tower crane di proyek *The 100 Residence* diperlihatkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Hasil Survei Tower Crane Proyek *The 100 Residence*

No.	Siklus	Hook memuat baja ml. (ETc1)	Hook naik (membawa baja ml.) (ETc2)	TC manover (keadaan lnt) (ETc3)	TC turun (keadaan lnt) (ETc4)	TC Naik (keadaan lnt) (ETc5)	TC Naik (keadaan lnt) (ETc6)	TC manover kembali (ETc7)	Hook turun (keadaan lnt) (ETc8)	Total waktu 1 siklus (detik)
1	1	282	53	7	5	867	5	-	-	1214
2	2	330	67	10	6	988	4	-	-	1389
3	3	392	74	12	6	1034	6	-	-	1518
4	4	264	50	8	5	817	5	-	-	1144
5	5	288	59	7	7	776	4	-	-	1134
6	6	340	70	9	6	878	6	-	-	1303
7	7	186	54	7	5	398	5	-	-	650
8	8	202	52	7	5	676	6	-	-	943
9	9	312	66	9	6	724	7	-	-	1118
10	10	324	64	11	5	833	5	-	-	1237
TOTAL WAKTU (jam) =										3,24

Hasil Survei untuk penggunaan tower crane di proyek *Benson Tower 6* diperlihatkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Hasil Survei Tower Crane Proyek *Benson Tower 6*

No.	Siklus	Hook memuat baja ml. (ETc1)	Hook naik (membawa baja ml.) (ETc2)	TC manover (keadaan lnt) (ETc3)	Hook turun (keadaan lnt) (ETc4)	TC Naik (keadaan lnt) (ETc5)	TC Naik (keadaan lnt) (ETc6)	Hook manover kembali (ETc7)	Hook diturunkan ke area perbaikan (ETc8)	Total waktu 1 siklus (detik)
1	1	242	162	8	4	1577	3	-	-	1892
2	2	322	194	14	4	2113	5	-	-	2648
3	3	266	155	17	5	2001	6	-	-	2445
4	4	300	177	12	4	1867	5	-	-	2361
5	5	276	168	15	4	1902	4	-	-	2365
6	6	311	181	16	4	1844	4	-	-	2356
TOTAL WAKTU (jam) =										3,94

Hasil Estimasi Emisi CO₂ Oleh penggunaan tower crane proyek *The 100 Residence* diperlihatkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Hasil Estimasi Emisi CO₂ Oleh Penggunaan Tower Crane Proyek *The 100 Residence*

No	ETc1	ETc2	ETc3	ETc4	ETc5	ETc6	ETc7	ETc8	ETc Total
1	47.159	8.863	1.171	0.836	144.989	0.836	-	-	203.854
2	55.186	11.204	1.672	1.003	165.224	0.669	-	-	234.959
3	65.554	12.375	2.007	1.003	172.916	1.003	-	-	254.859
4	44.149	8.362	1.338	0.836	136.627	0.836	-	-	192.148
5	48.162	9.867	1.171	1.171	129.771	0.669	-	-	190.810
6	56.858	11.706	1.505	1.003	146.828	1.003	-	-	218.905
7	31.105	9.030	1.171	0.836	66.558	0.836	-	-	109.536
8	33.781	8.696	1.171	0.836	113.048	1.003	-	-	158.535
9	52.176	11.037	1.505	1.003	121.075	1.171	-	-	187.967
10	54.183	10.703	1.840	0.836	139.303	0.836	-	-	207.700
ETc Rata-Rata (Kg CO ₂)									195,927

Hasil Estimasi Emisi CO₂ Oleh penggunaan tower crane proyek *Benson Tower 6* diperlihatkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Hasil Estimasi Emisi CO₂ Oleh Penggunaan Tower Crane Proyek *Benson Tower 6*

No	ETc1	ETc2	ETc3	ETc4	ETc5	ETc6	ETc7	ETc8	ETc Total
1	40.470	27.091	1.338	0.669	263.723	0.502	-	-	333.792
2	53.848	32.443	2.341	0.669	353.358	0.836	-	-	443.495
3	44.483	25.921	2.843	0.836	334.628	1.003	-	-	409.715
4	50.169	29.600	2.007	0.669	312.219	0.836	-	-	395.500
5	46.156	28.095	2.508	0.669	318.073	0.669	-	-	396.169
6	52.009	30.269	2.676	0.669	308.373	0.669	-	-	394.664
ETc Rata-Rata (Kg CO ₂)									395,556

4.4 Perhitungan Estimasi Emisi CO₂ Untuk Keperluan Struktural

Hasil Estimasi Emisi CO₂ untuk keperluan struktural proyek *The 100 Residence* diperlihatkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Hasil Estimasi Emisi CO₂ Untuk Keperluan Struktural Proyek *The 100 Residence*

eBT	VBT	EMBT
0.3962	5039883.76	1996801.946

Hasil Estimasi Emisi CO₂ untuk keperluan struktural proyek *Benson Tower 6* diperlihatkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Hasil Estimasi Emisi CO₂ Untuk Keperluan Struktural Proyek *Benson Tower 6*

eBT	VBT	EMBT
0.3962	18945800.13	7506326.012

5. PEMBAHASAN

5.1 Pembahasan dan Kesimpulan

Berdasarkan analisis data, pembahasan dan kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Pada rantai pasok konstruksi, estimasi emisi CO₂ yang dihasilkan Proyek *The 100 Residence* Surabaya sebesar kurang lebih 18.580,6 Kg.CO₂ dan Proyek *Benson Tower 6* Surabaya sebesar kurang lebih 64.996,4 Kg.CO₂. Jumlah estimasi emisi CO₂ untuk Proyek *Benson Tower 6* jauh lebih

banyak apabila dibandingkan dengan proyek *The 100 Residence* (hampir 3,5x lipat) karena adanya faktor jumlah *truck trailer* pengangkut baja tulangan yang mengirim ke Proyek Benson *Tower 6* jauh lebih banyak. Selain itu, durasi pengiriman untuk Proyek Benson *Tower 6* juga lebih lama dibandingkan dengan Proyek *The 100 Residence*.

2. Pada perakitan baja tulangan (*bar cutter* dan *bar bender*), estimasi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh Proyek *The 100 Residence* Surabaya sebesar kurang lebih 2,70039 Kg.CO₂ dan Proyek Benson *Tower 6* Surabaya sebesar kurang lebih 3,32887 Kg.CO₂. Apabila dibandingkan, hasil emisi gas CO₂ yang dihasilkan di Proyek Benson *Tower 6* lebih besar dari Proyek *The 100 Residence*. Walaupun kedua Proyek tersebut menggunakan mesin *bar bender* dan *bar cutter* dengan kapasitas yang sama, namun jumlah frekuensi pemotongan dan pembengkokan yang menjadi faktor perbedaan jumlah emisi gas CO₂ yang dihasilkan. Perbedaan frekuensi pemotongan dan pembengkokan inilah yang mempengaruhi lama waktu dari penggunaan mesin tersebut.
3. Pada penggunaan *tower crane*, estimasi emisi CO₂ yang dihasilkan Proyek *The 100 Residence* Surabaya sebesar kurang lebih 195,927 Kg.CO₂ dan Proyek Benson *Tower 6* Surabaya sebesar kurang lebih 395.556 Kg.CO₂. Walaupun kedua Proyek menggunakan mesin TC yang memiliki kapasitas mesin yang sama, hasil estimasi emisi CO₂ cukup kontras berbeda akibat adanya perbedaan lama waktu penggunaan mesin. Diperlihatkan pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 perbedaan lama waktu penggunaan mesin TC. Perbedaan lama waktu penggunaan mesin TC diindikasikan mempengaruhi hasil estimasi CO₂.
4. Pada tulangan baja untuk keperluan struktural, estimasi emisi CO₂ Proyek *The 100 Residence* Surabaya sebesar kurang lebih 1.996.801,946 Kg.CO₂ dan Proyek Benson *Tower 6* Surabaya sebesar kurang lebih 7.506.326,012 Kg.CO₂. Perbedaan yang sangat besar ini akibat berbeda kebutuhan keperluan baja tulangan struktur pada kedua proyek. Pada Proyek Benson *Tower 6*, kebutuhan baja tulangan jauh lebih banyak dibandingkan Proyek *The 100 Residence*. Perbedaan kebutuhan baja tulangan di kedua proyek ini akibat perbedaan luas, tinggi, serta desain tata-letak bangunan.
5. Total estimasi emisi CO₂ untuk Proyek *The 100 Residence* adalah 2.015.582,17 Kg.CO₂ dan Proyek Benson *Tower 6* adalah 7.571.721,29 Kg.CO₂.
6. Setiap alat yang digunakan dalam proses pekerjaan baja tulangan ikut berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO₂. *Truck trailer* merupakan alat penyumbang emisi CO₂ terbesar dibanding alat lain yang digunakan saat pekerjaan perakitan baja tulangan dalam ruang lingkup *gate to install*. Jadi proses pengiriman baja tulangan adalah proses pekerjaan yang menghasilkan estimasi gas CO₂ terbesar, dibandingkan dengan proses pabrikasi dan instalasi baja tulangan.
7. Operator mesin untuk pekerjaan baja tulangan juga ikut mempengaruhi besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan. Perbedaan subjek

pekerja jelas mempengaruhi laju pekerjaan proyek. Seperti beberapa temuan pada Proyek *The 100 Residence*, para pekerja mengobrol dan beristirahat tanpa mematikan alat. Hal inilah mempengaruhi hasil estimasi emisi gas CO₂ pada perhitungan.

8. Siklus *tower crane* tidak selalu sama, karena perbedaan jadwal pekerjaan pada kedua proyek. Namun, dalam perhitungan, kami mengambil sampel data pekerjaan *tower crane* yang sama, sehingga dapat dibandingkan.

5.2 Saran

Penemuan pada Proyek *The 100 Residence* dan juga Proyek *Benson Tower 6* yang mempengaruhi jumlah estimasi emisi CO₂ adalah:

1. Saat pekerja berhenti bekerja alat pekerjaan masih beroperasi;
2. Lahan Pabrikasi yang sempit.

Beberapa saran yang bisa menjadi masukan dan evaluasi yang baik adalah pekerja dihimbau untuk menyelesaikan tugasnya terlebih dahulu kemudian mematikan alat. Setelah mesin mati baru beristirahat. Alat yang dibiarkan menyala terus memproduksi emisi CO₂. Jadi akan lebih baik jika saat mesin dalam keadaan aktif, mesin dipergunakan seefisien mungkin.

Temuan lainnya adalah lahan pabrikasi yang sempit. Hal ini akan menyulitkan pekerja dalam melakukan perakitan. Selain lahan yang sempit, keadaan sekitar daerah pabrikasi juga kurang terawat. Ada genangan air di beberapa titik. Akan lebih baik apabila dilakukan penataan ulang daerah pabrikasi agar bisa mendapatkan daerah yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

Azambuja, M., O'Brien, W. J. (2009): *Construction Supply Chain*

Modeling: Issues and Perspectives, Construction Supply Chain Management, Taylor & Francis Group, 2-1 – 2-31.

Bayer, C., Gamble, M., Gentry, R., dan Joshi, S. (2010): AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice diperoleh melalui situs internet:

<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab082942.pdf>.

Diunduh pada tanggal 11 Oktober 2012 pukul 21.10 WIB.

Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., Hare, W., Huq, S., Karoly, D., Kattsov, V., Kundzewicz, Z., Liu, J., Lohman, U., Manning, M., Matsuno, T., Menne, B., Metz, B., Mirza, M., Nicholls, N., Nurse, L., Pachauri, R., Palutikof, J., Parry, M., Qin, D., Ravindranath, N., Reisinger A., Ren, J., Riahi, K., Rosenzweig, C., Rusticucci, M., Schneider, S., Sokona, Y., Solomon, S., Stott, P., Stoufer, R., Sugiyama, T., Swart, R., Tirpak, D., Vogel, C., dan Yoh, G. (2007): *Climate Change 2007 Synthesis Report. A Report of Intergovernmental Panel on Climate Change.*

Bilec, M.M. (2007): *A hybrid life cycle assessment model for construction processes.* Ph. D Dissertation, University of Pittsburgh.

Boer, R., Sulistyowati, Las, I., Zed, F., Masripatin, N., Kartakusuma, D.A., Hilman, D., Mulyanto, H.S., Dewi, R. G., Wibowo, A., Suryahadi, Ardiansyah, M., Buono, A., Hidayati, R., Hariati, F., Setyanto, P., Surmaini, E., Heryansyah, A., Kartikasari, K., Permana, I.G., June, T., Purwanto,

- Y.P., Faqih, A., Sunaryo, Balia, M.L., Aritenang, W., Tedjakusuma, E.E., Diposaptono, S., Kusuma, I., Sinaga, E.A., Irianto, G., N. Hendradjat, Anggadireja, A., Harijono, S.B., Herwana, A., Alkadri, W., Supraptini, E., Wahyudi, A., Dharmaputra, G.A., Sombu, I.B., Handayani, L., Abdurrahman, Boedoyo, S., Soendjoto, Atmadilaga, A.H., Djamaluddin, T., Rakhman, A., Siagian, U., Nasution, M.H., Lestari, P., Anggraeni, S.D., Ismawati, Y., Solihin, U., Syafe'i, A., Kamil, Upiek S.A., Febriyanti, S., Oktavariani, D., Fitriyani, Irawan, D.J., Ginting, G., Jessica dan Andrea. (2010): *Indonesia Second National Communication Under The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*, Climate Change Protection for Present and Future Generation, Ministry of Environment, Republic of Indonesia, Jakarta, November 2010.
- Bribián, I. Z., Capilla, A. V., Usón, A. A. (2011). "Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement", *Building and Environment* 46:1133-1140.
- Cheng, J.C.P. (2011): A web service framework for measuring and monitoring environmental and carbon footprint in construction supply chains. *Procedia Engineering*, **14**, 141-147.
- Chapman, P.F. (1974): Energy costs: a review of methods. *Energy Policy*, **2** (2), 91-103.
- Cherns, A., dan Bryant, D. (1983): Studying the client's role in construction management. *Construction Management and Economics*, **2**, 177.
- Cooper (1997): Definitions of Supply Chain Management, dalam Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., Zacharia, Z. G. (2001): Defining Supply Chain Management, *Journal of Business Logistics*, **22**, 6-7.
- Cooper, C.L., dan Rousseau, D.M. (1999): *Trends in organizational behavior*. John Wiley & Sons, New York.
- Data Jumlah Bangunan Tingkat Tinggi di Beberapa Kota yang Ada di Indonesia, diperoleh melalui situs internet: <http://inafeed.com/10575/ini-dia-10-kota-di-indonesia-yang-punya-gedung-gedung-tinggi-terbanyak/> pada hari Selasa, 28 November 2017, pukul 18.21 WIB
- Data Peringkat Negara Berdasarkan Total Bangunan yang Telah Diselesaikan, diperoleh melalui situs internet: <http://www.skyscrapercenter.com/countries?list=buildings> pada hari Minggu, 5 November 2017, pukul 20:49 WIB.
- Data Peringkat Kota Berdasarkan Total Bangunan yang Telah Diselesaikan diperoleh melalui situs internet: <http://www.skyscrapercenter.com/cities?list=buildings> pada hari Minggu, 5 November 2017, pukul 20:49 WIB.
- Deming, W.E., (1982): *Out of the Crisis*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

- Elhedli, S., dan Merrick, R. (2012): Green supply chain network design to reduce carbon emissions. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, **17** (5), 370-379.
- EPA (1993): Life Cycle Stages, dalam Scientific Applications International Corporation (SAIC), *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, Ohio, May 2006.
- Frick (2007): *Carbon Tracing* Komponen Struktur Bangunan Gedung (Studi Kasus Gedung Isipol UAJY), Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Guggemos, A.A. (2003): *Environmental impacts of on-site construction processes: focus on structural frames*. Ph. D Dissertation, University of Berkeley.
- Harland, C.M., Lamming, R.C., dan Cousins, P.D. (1999): Developing the concept of supply strategy. *International Journal of Operations and Production Management*, **19** (7), 650-673.
- Hasan, S., Bouferguene, A., Al-Husseina, M., Gillis, P., dan Telyas, A. (2013): Productivity and CO₂ emission analysis for tower crane utilization on high-rise building projects. *Automation in Construction*, **31**, 255-264.
- Hermawan., Marzuki, P.F., Abduh, M., dan Driejana, R. (2013): Peran *life cycle analysis* (LCA) pada material konstruksi dalam upaya menurunkan dampak emisi karbon dioksida pada efek gas rumah kaca, *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS)-Surakarta*, 24-26 Oktober 2013, **2**, 47-52.
- Hermawan (2017): Pengembangan model jejak karbon pada pelaksanaan pekerjaan struktur atas beton bertulang untuk konstruksi bangunan tingkat tinggi di Indonesia, *Ringkasan Disertasi Insitut Teknologi Bandung*.
- Houghton, J.T., Jenkins, G. J., dan Ephraums, J.J. (1990): *Climate Change. IPCC Scientific Assessment, Cambridge*. Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge The Pitt Building, Trumpington Street, Cambridge CB2 1RP 40 West 20th Street, New York, NY 1011, USA 10 Stamford Road, Oakleigh, Melbourne 3166, Australia.
- Jones, Riley (1985): Definitions of Supply Chain Management, dalam Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., Zacharia, Z. G. (2001): Defining Supply Chain Management, *Journal of Business Logistics*, **22**, 6-7.
- Khalfan, M, McDermott, P dan Cooper, R (2004): Integrating the supply chain within construction industry. In: Khosrowshahi, F (Ed.), *The 20th Annual ARCOM Conference*, 1-3 September 2004, Heriot Watt University. Association of Researchers in Construction Management, **2**, 897-904.
- Koskela, L. (2003): Is structural change the primary solution to the problems of construction. *Building Research and Information*, **31** (2), 85-96.

- Londe, L., Masters (1994): Definitions of Supply Chain Management, dalam Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., Zacharia, Z. G. (2001): Defining Supply Chain Management, *Journal of Business Logistics*, **22**, 6-7.
- Luhtala, M., Kilpinen, E., dan Anttila, P., (1994): *LOGI: Managing MakeTo-Order Supply Chains*. Helsinki University of Technology, Espoo.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., Zacharia, Z. G. (2001): Defining Supply Chain Management, *Journal of Business Logistics*, **22**, 17-19.
- Mikulčić, H., Vujanović, M., Duić, N. (2013), "Reducing the CO₂ emission in Croatian cement industry", *Journal of Applied Energy* 101: 41-48.
- Monczka, Trent, Handfield (1998): Definitions of Supply Chain Management, dalam Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., Zacharia, Z. G. (2001): Defining Supply Chain Management, *Journal of Business Logistics*, **22**, 6-7.
- O'Brien, W. J., Fischer, M. A., dan Jucker, J. V. (1995): An economic view of project coordination. *Construction Management and Economics*, **13** (5), 393-400.
- O'Brien, W. (1999): Construction supply chain management: A vision for advanced coordination, costing and control. Diunduh dari situs internet: http://www.ce.berkeley.edu/~tomm_elein/CEMworkshop.html pada tanggal 20 Januari 2018 pukul 22.45 WIB.
- Oshita, Y. (2012): Identifying critical supply chain paths that drive changes in CO₂ emissions. *Energy Economics*, **34**, 1041-1050.
- Papadopoulos, G.A., Zamer, N., Gayialis, S.P., dan Tatsiopoulou, I.P. (2016): Supply Chain Improvement in Construction Industry, *Universal Journal of Management*, **4** (10), 528-534.
- Peng, W., dan Pheng, L.S. (2011): Managing the embodied carbon of precast concrete columns. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **23** (8), 1192-1199.
- Pullen, S. (2000): Estimating the embodied energy of timber building products, *Journal of the Institute of Wood Science*, **15** (3), 147-151.
- Rute perjalanan *truck* dari pabrik ke Proyek *Benson Tower* 6 menggunakan *Google map* diperoleh melalui situs internet: [https://www.google.com/maps/dir/The+Master+Steel+\(TMS-2\),+Tenger,+Roomo,+Kabupaten+Gresik,+Jawa+Timur/A%26W+-+Supermal+Pakuwon+Indah,+Jalan+Mayjen+Yono+Suwoyo,+Babatan,+Kota+Surabaya,+Jawa+Timur/@-7.222235,112.5922851,12z/data=!4m15!4m14!1m5!1m1!1s0x2e77fe027f44e28d:0xc6bb0409e30f0adc!2m2!1d112.6204855!2d-7.120593!1m5!1m1!1s0x2dd7fc3603a01f89:0x219190d32c3ebba2!2m2!1d112.6740519!2d-7.29043!3e0!5i1](https://www.google.com/maps/dir/The+Master+Steel+(TMS-2),+Tenger,+Roomo,+Kabupaten+Gresik,+Jawa+Timur/A%26W+-+Supermal+Pakuwon+Indah,+Jalan+Mayjen+Yono+Suwoyo,+Babatan,+Kota+Surabaya,+Jawa+Timur/@-7.222235,112.5922851,12z/data=!4m15!4m14!1m5!1m1!1s0x2e77fe027f44e28d:0xc6bb0409e30f0adc!2m2!1d112.6204855!2d-7.120593!1m5!1m1!1s0x2dd7fc3603a01f89:0x219190d32c3ebba2!2m2!1d112.6740519!2d-7.29043!3e0!5i1) pada hari Selasa, 9 Oktober 2018, pukul 15.19 WIB.
- Rute perjalanan *truck* dari pabrik ke Proyek *The 100 Residence*

menggunakan *Google Map* diperoleh melalui situs internet: [https://www.google.com/maps/dir/The+Master+Steel+\(TMS-2\),+Tenger,+Roomo,+Kabupaten+Gresik,+Jawa+Timur/The+100+Residence,+Jalan+Raya+Gubeng,+Gubeng,+Kota+Surabaya,+Jawa+Timur/@-7.1984931,112.6026843,12z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x2e77fe027f44e28d:0xc6bb0409e30f0adc!2m2!1d112.6204855!2d-7.120593!1m5!1m1!1s0x2dd7fbdb44c293b9:0x8a026538b525a66a!2m2!1d112.7459844!2d-7.2759967!3e0](https://www.google.com/maps/dir/The+Master+Steel+(TMS-2),+Tenger,+Roomo,+Kabupaten+Gresik,+Jawa+Timur/The+100+Residence,+Jalan+Raya+Gubeng,+Gubeng,+Kota+Surabaya,+Jawa+Timur/@-7.1984931,112.6026843,12z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x2e77fe027f44e28d:0xc6bb0409e30f0adc!2m2!1d112.6204855!2d-7.120593!1m5!1m1!1s0x2dd7fbdb44c293b9:0x8a026538b525a66a!2m2!1d112.7459844!2d-7.2759967!3e0) pada hari Selasa, 9 Oktober 2018, pukul 15.12 WIB.

Scientific Applications International Corporation (SAIC): *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, Ohio 2006.

Seo, S., dan Hwang, Y. (2001): Estimation of CO₂ in life cycle of residential buildings, *Journal of Construction Engineering and Management*, **127** (5), 414-418.

Shingo, S., (1988): *Non-Stock Production*. Productivity Press, Cambridge.

Stevens (1989): Definitions of Supply Chain Management, dalam Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., Zacharia, Z. G. (2001): Defining Supply Chain Management, *Journal of Business Logistics*, **22**, 6-7.

Tommelein (2003): Construction Supply Chain, dalam O'Brien, W. J., Formoso, C. T., Vrijhoef, R., London, K. A., *Construction Supply Chain Management*, Taylor & Francis Group, United States of America.

Truitt, P. (2009): *Potential for reducing greenhouse gas emission in the construction sector*. Pennsylvania Ave: National Construction Sector Lead.

Voordijk, H dan Vrijhoef, R (2003) Improving supply chain management in construction: what can be learned from the aerospace industry? In: Greenwood, D J (Ed.), *The 19th Annual ARCOM Conference, 3-5 September 2003*, University of Brighton. Association of Researchers in Construction Management, 2, 837-46.

Vrijhoef, R. dan Koskela, L. (2000): The four roles of supply chain management in construction. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, **6**, 169-178.

Wong, F., dan Tang, Y.T. (2012): Comparative embodied carbon analysis of the prefabrication elements compared with in-situ elements in residential building development of Hongkong. *World Academy of Science and Technology*, **62**, 161-166.