

# Identifikasi Besar Biaya Sumber Emisi CO<sub>2</sub> Pekerjaan Pengecoran Struktur Beton Bertulang Pada Ruang Lingkup *Gate To Gate*

Devi Kumala Birgitta<sup>1</sup>, Cindy Regan Handoyo<sup>1</sup>, Hermawan<sup>2,3</sup> dan Budi Setiyadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata,  
Email: devikumala14@gmail.com; cindyregan96@gmail.com

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata

<sup>3</sup>Anggota Kelompok Peneliti Manajemen dan Konstruksi

Universitas Katolik Soegijapranata, Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur Semarang  
50234

Email: hermawan.mrk@gmail.com

## Abstrak

Emisi carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) merupakan salah satu gas rumah kaca yang dihasilkan oleh industri konstruksi. Industri konstruksi berperan sebagai kontributor utama dari manufaktur, rantai pasok konstruksi, dan pelaksanaan konstruksi. Persentase emisi CO<sub>2</sub> dari manufaktur material konstruksi berkisar antara 93,7%-98,6%, dari rantai pasok konstruksi berkisar antara 0,1%-5,2%. Sementara itu, salah satu persentase emisi CO<sub>2</sub> pada pelaksanaan pekerjaan konstruksi adalah pekerjaan pengecoran struktur beton bertulang. Besar emisi CO<sub>2</sub> dari pekerjaan tersebut berkisar antara 0,03%-1,2%. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi besarnya biaya akibat emisi CO<sub>2</sub> yang ditimbulkan pada pekerjaan tersebut. Besar emisi CO<sub>2</sub> yang diindikasikan turut menentukan besarnya biaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sumber emisi CO<sub>2</sub> terhadap besaran biaya pada pekerjaan struktur beton bertulang. Ruang lingkup penelitian ini adalah *gate to gate* yaitu pada pekerjaan pengecoran struktur beton bertulang bangunan tingkat tinggi dengan menggunakan tower crane dan concrete pump. Tahapan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari pemodelan aktivitas pekerjaan dengan CYCLONE. Selanjutnya, diestmiasi besarnya emisi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan formula dari penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya. Kedua tahapan tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi besarnya biaya yang diindikasikan sebagai sumber emisi CO<sub>2</sub>. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pelaksanaan pekerjaan pengecoran menggunakan tower crane, diperoleh estimasi emisi CO<sub>2</sub> ± 239,87 kg.CO<sub>2</sub> dengan besar biaya Rp. 241.711,00/hari, sedangkan untuk concrete pump sebesar ± 84,56 kg.CO<sub>2</sub> dengan besar biaya Rp. 1.560.000/hari/tangki

**Kata kunci :** biaya, sumber emisi CO<sub>2</sub>, *gate to gate*.

## 1. PENDAHULUAN

Emisi *carbon dioxide* (CO<sub>2</sub>) merupakan salah satu gas rumah kaca yang signifikan jika dibandingkan terhadap gas rumah kaca yang lainnya, *methane* (CH<sub>4</sub>), *nitrous dioxide* (N<sub>2</sub>O), *hydrofluorocarbons* (HFCs), *perfluorocarbons* (PFCs), dan *sulphur hexafluoride* (SF<sub>6</sub>) (Seo dan Hwang, 2001). Emisi CO<sub>2</sub> merupakan hasil dari kegiatan industri, transportasi,

deforestasi, dan degradasi hutan yang berupa gas-gas polutan (Pirkko dan Nyronen, 1990). Sektor industri berkontribusi sebesar 21% terhadap emisi CO<sub>2</sub> yang ada di dunia. Salah satu kegiatan industri yang ikut berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> adalah industri konstruksi. Hong (2014) menyatakan industri konstruksi, sebagai kontributor utama dari gas rumah kaca, mempunyai peran

penting dalam pemanasan global. Bahkan industri konstruksi bertanggung jawab atas 40% konsumsi energi global dan turut berkontribusi sebesar lebih dari 30% dari total emisi CO<sub>2</sub> di dunia (Magoulès dan Zhao, 2012; Hong, 2014; Chou dan Yeh, 2015).

Berdasarkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2016), emisi CO<sub>2</sub> terbesar yang dihasilkan Indonesia pada sektor industri adalah 151,98 juta ton. Jumlah emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2012 ini terhitung meningkat pesat, apabila dibandingkan dengan tahun 2000 sebesar 82,86 juta ton. Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> ini berkaitan dengan kemajuan Indonesia sebagai negara berkembang. Salah satu ciri negara berkembang adalah pertumbuhan nilai proyek konstruksi memiliki kecenderungan meningkat. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2017, jenis proyek konstruksi bangunan gedung memiliki persentase yang cukup signifikan dan mempunyai dampak negatif terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub>.

Menurut Loftabadi (2014), jenis bangunan gedung yang diindikasikan sebagai sumber emisi CO<sub>2</sub> adalah bangunan tingkat tinggi. Berdasarkan data *Council on Tall Buildings and Urban Habitat* (CTBUH, 2016), sudah tercatat kurang lebih ada 154 bangunan tingkat tinggi yang telah diselesaikan pada tahun 2017 di Indonesia. Bangunan tingkat tinggi tersebut tersebar di beberapa kota yang ada di Indonesia, salah satunya adalah Kota Surabaya. Menurut Nielsen (2008), semakin tinggi bangunan yang dibangun maka kebutuhan energi dan penggunaan material akan semakin besar. Oleh karena itu, bangunan tingkat tinggi mempunyai potensi sebagai kontributor terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> (Loftabadi, 2014). Kontribusi

emisi CO<sub>2</sub> dari bangunan tingkat tinggi berasal dari manufaktur, rantai pasok konstruksi dan pelaksanaan konstruksi. Pada bagian manufaktur, salah satu material yang diindikasikan sebagai sumber emisi CO<sub>2</sub> adalah semen. Semen menjadi material tertinggi yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> (Bribián dkk., 2011). Pada umumnya, penggunaan semen untuk struktur beton bertulang melalui proses pengolahan di *batching plant*. Keluaran dari *batching plant* biasanya disebut dengan beton *ready mix*.

Hong (2014) menyatakan bahwa beton sebagai material konstruksi yang penting dan sering digunakan, turut berkontribusi terhadap kurang lebih  $\frac{2}{3}$  dari total emisi CO<sub>2</sub>. Persentase emisi CO<sub>2</sub> dari pelaksanaan pekerjaan pengecoran berkisar antara 0,03%-1,2% (Hermawan, 2011). Proses pelaksanaan konstruksi yang diindikasikan sebagai sumber emisi CO<sub>2</sub> adalah pekerjaan struktur, khususnya untuk pekerjaan struktur beton bertulang. Guggemos (2005) menyatakan meskipun kecil, proses pelaksanaan konstruksi tidak dapat diabaikan. Proses pelaksanaan konstruksi sebagai bagian yang penting di dalam analisa daur hidup (*life cycle analysis*) konstruksi.

Berdasarkan uraian di atas, dapat diperlihatkan bahwa hampir semua tahapan yang terdapat di dalam analisa daur hidup proyek konstruksi berpotensi sebagai sumber emisi CO<sub>2</sub>. Setiap tahap pekerjaan memiliki kontribusi masing-masing terhadap besarnya emisi CO<sub>2</sub>. Salah satu tahap pekerjaan, yaitu pekerjaan pengecoran, merupakan bagian kecil namun menjadi sangat penting sebagai pembentuk daur hidup konstruksi.

Sementara itu, emisi CO<sub>2</sub> diindikasikan mempunyai hubungan terhadap besaran biaya proyek

konstruksi (Chou dan Yeh, 2015; Kim dkk., 2015). Hal ini memperlihatkan bahwa ada hubungan emisi CO<sub>2</sub> terhadap daur hidup konstruksi. Hubungan tersebut dapat diestimasi melalui pendekatan yang disebut *life cycle costing* CO<sub>2</sub> (LCCCO<sub>2</sub>). Ruang lingkup LCCCO<sub>2</sub> terdiri dari besarnya biaya yang timbul akibat emisi CO<sub>2</sub> dan pengaruhnya terhadap biaya konstruksi. Kompleksitas ruang lingkup LCCCO<sub>2</sub> dapat memperlihatkan besar dan kecilnya antara emisi CO<sub>2</sub> dan biaya konstruksi. Mengingat biaya material biasanya mencakup kurang lebih 60% dari keseluruhan biaya konstruksi, maka biaya tambahan dari emisi CO<sub>2</sub> akan cukup tinggi pula (Kim dkk., 2015). Oleh sebab itu, hubungan antara emisi CO<sub>2</sub> dan biaya konstruksi menjadi bagian penting untuk diteliti sehingga dapat berkontribusi terhadap industri konstruksi di Indonesia.

## 2. TUJUAN

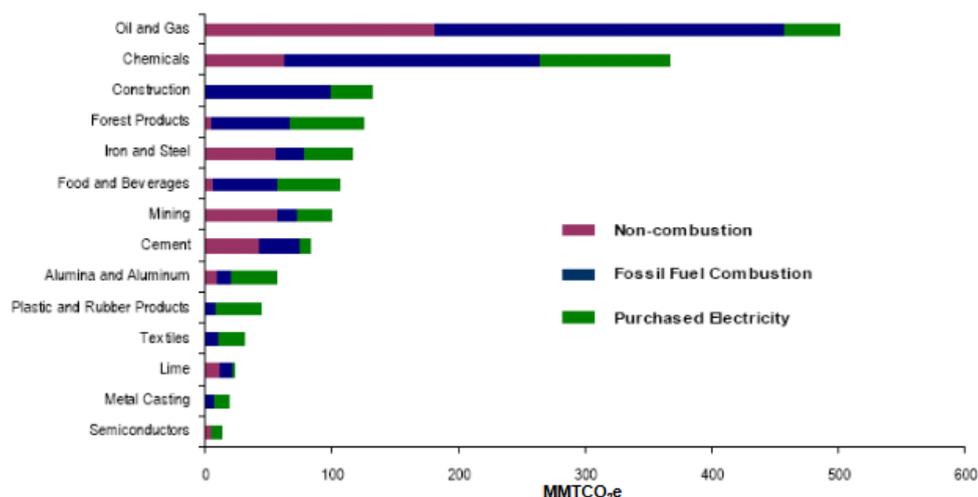
Tujuan tulisan ini adalah untuk mengidentifikasi besar biaya sumber emisi CO<sub>2</sub> pekerjaan pengecoran struktur beton bertulang pada ruang lingkup *gate to gate*

## 3. KAJIAN PUSTAKA

### Emisi CO<sub>2</sub> Pada Industri Konstruksi

Sektor industri menjadi kontributor CO<sub>2</sub> tertinggi ketiga setelah sektor transportasi dan listrik dengan persentase emisi CO<sub>2</sub> sebesar 21% (*United States Environmental Protection Agency*, 2015). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Truitt (2009), industri terbagi menjadi 14 sektor. Salah satu industri yang ikut berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> adalah industri konstruksi. Industri konstruksi menempati posisi tertinggi ketiga penyumbang emisi CO<sub>2</sub>, setelah industri minyak dan industri bahan kimia.

Pemetaan sumber emisi CO<sub>2</sub> dari berbagai macam sektor industri dapat diperlihatkan pada Gambar 1.



**Notes:** Depending on the sector, emissions may include CO<sub>2</sub>, methane (CH<sub>4</sub>), and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O). For construction, only CO<sub>2</sub> emissions are reported for fossil fuel combustion.  
 MMTCO<sub>2</sub>e = million metric tons of CO<sub>2</sub> equivalents.  
 Source: Reprinted from U.S. EPA, *Quantifying Greenhouse Gas Emissions in Key Industrial Sectors in the U.S.*, Sector Strategies Division, May 2008, Figure 1-4.

Sumber : Truitt, 2009

Gambar 1. Pemetaan sumber emisi CO<sub>2</sub> di Amerika dari berbagai macam industri

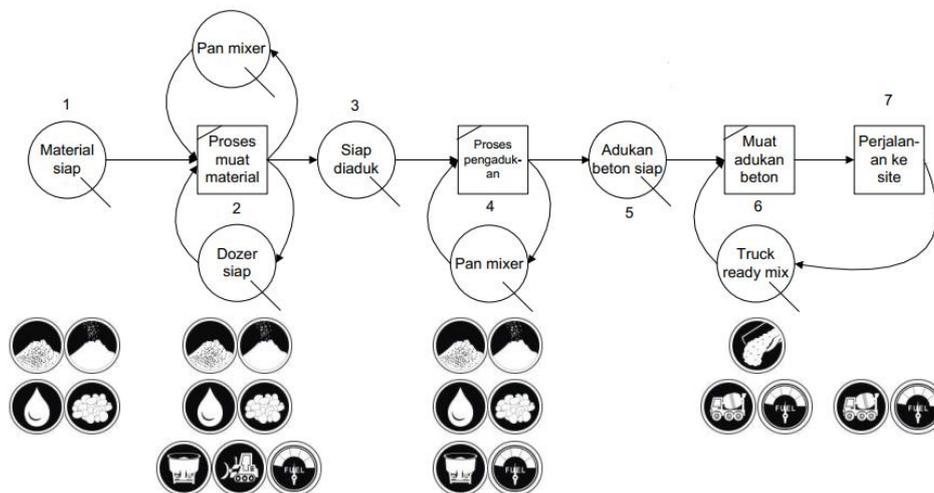
Salah satu daur hidup konstruksi yang menjadi bagian penting adalah pekerjaan konstruksi. Pekerjaan konstruksi adalah seluruh pekerjaan yang berhubungan dengan pelaksanaan konstruksi bangunan atau pembuatan wujud fisik lainnya. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, pengecoran struktur atas beton bertulang merupakan salah satu sumber dan penentu besar emisi CO<sub>2</sub>. Selain itu penggunaan alat bantu *tower crane* dan *concrete pump* juga menjadi penentu besar emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan oleh pemakaian volume beton dalam jumlah yang sangat besar (Hermawan, 2011).

### Pekerjaan Pengecoran Beton Bertulang

Beton merupakan salah satu bahan bangunan terpenting yang

digunakan di dunia (Meyer, 2011). Beton terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu masa mirip batuan. Beton merupakan material yang relatif kuat terhadap beban tekan, namun lemah terhadap beban tarik. Untuk memperoleh struktur bangunan yang kuat terhadap beban tarik, maka ditambahkan baja tulangan di dalamnya. Tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton (McCormac, 2004; Johannessen, 2008). Beton bertulang merupakan salah satu bahan konstruksi yang umum digunakan, contohnya beton *ready mix*. Tempat produksi beton *ready mix* dalam skala besar dilakukan di *batching plant*.

Proses produksi beton *ready mix* di *batching plant* diperlihatkan pada Gambar 2.



Sumber : Hermawan, dkk., 2013

Gambar 2. Proses pembuatan beton *ready mix* di *batching plant*

Proses diatas terbagi menjadi beberapa tahap kegiatan. Setiap kegiatan membutuhkan sumber daya. Sumber daya meliputi tenaga kerja, material, peralatan, dan bahan bakar.

Sumber daya yang erat hubungannya dengan efek gas rumah kaca adalah bahan bakar. Keluaran dari bahan bakar yaitu emisi CO<sub>2</sub> dan menjadi masukan yang penting untuk setiap prosesnya.

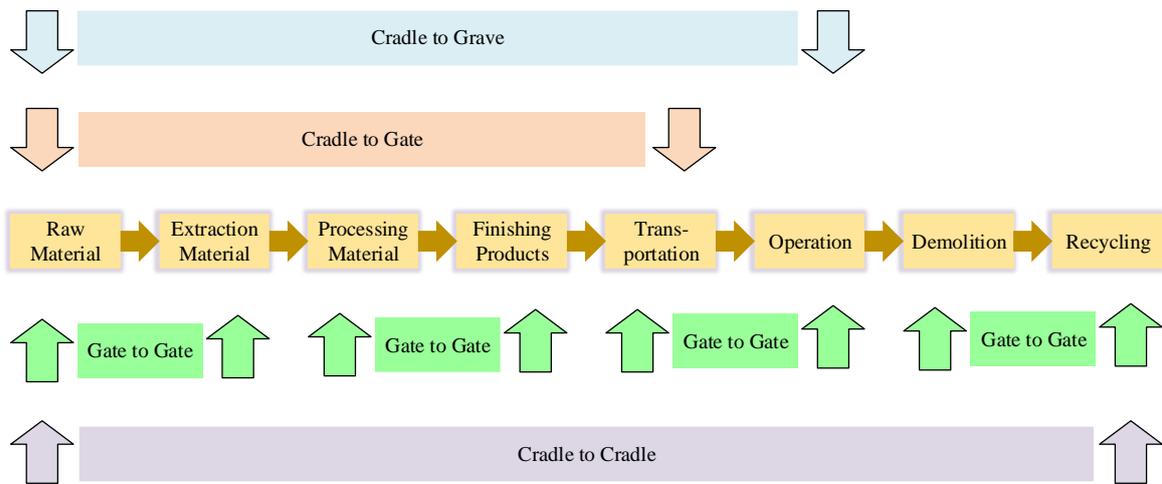
Emisi CO<sub>2</sub> terbagi menjadi dua yaitu emisi langsung dan emisi tidak langsung. Emisi langsung adalah emisi yang dihasilkan dari kegiatan proses konstruksi. Manufaktur material konstruksi yaitu semen dan baja merupakan bagian dari emisi tidak langsung. (Hermawan dkk., 2013).

**Life Cycle Analysis (LCA)**

Berdasarkan ANSI/ISO 14040, metode pendekatan LCA adalah teknik untuk melakukan penilaian terhadap dampak lingkungan yang terkait dengan suatu produk. LCA mempelajari dampak di seluruh kehidupan produk dari perolehan bahan baku melalui produksi, penggunaan, dan pembuangan. LCA memiliki 4 macam ruang lingkup yang diperlihatkan pada

Gambar 3 dan dijabarkan sebagai berikut:

- a. *Cradle to grave*, tahap ini dapat disebut dengan *full LCA*. Tahap ini dimulai dari proses manufaktur, pengoperasian produk, hingga ke tempat pembuangan,
- b. *Cradle to gate*, tahap ini dapat disebut *partial product life cycle*. Tahap ini hanya dimulai dari proses manufaktur hingga sebelum proses pengoperasian produk,
- c. *Cradle to cradle*, tahap ini meninjau analisis daur hidup produk dari proses manufaktur hingga proses daur ulang,
- d. *Gate to gate*, pada tahap ini hanya meninjau kegiatan terdekat, sehingga menjadi ruang lingkup LCA terpendek yang ada.



Sumber : Hermawan, dkk., 2013

Gambar 3. Ruang lingkup pada LCA

**Life Cycle Cost (LCC) Analysis**

*Life cycle cost analysis* dapat didefinisikan sebagai analisa biaya siklus hidup untuk mengevaluasi perkiraan biaya keseluruhan siklus hidup satu atau lebih proyek. Pada dunia konstruksi, LCC diterapkan pada

biaya perencanaan dan pembangunan yang dinamakan biaya awal, serta biaya perawatan rutin dan perbaikan yang dinamakan biaya pemeliharaan (Wongkar, 2016). Sebagai contoh pada saat pemilihan bahan bangunan. Pemilihan bahan bangunan dengan

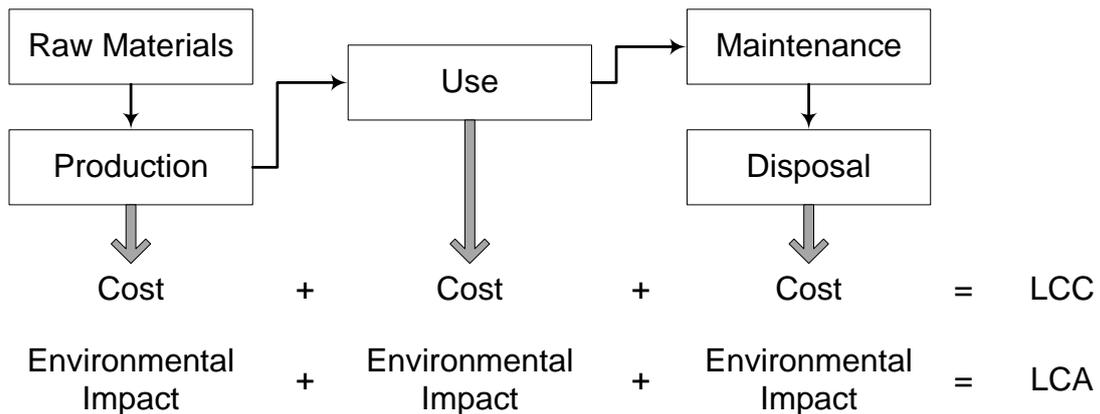
kualitas kurang baik kadang terjadi pada proyek pembangunan. Pemilihan bahan dengan kualitas rendah dimaksudkan untuk menurunkan biaya awal dari suatu pekerjaan, agar memperoleh keuntungan yang lebih. Namun penggunaan bahan bangunan dengan kualitas rendah mengakibatkan bangunan cepat mengalami kerusakan. Kerusakan pada bangunan mengharuskan adanya pemeliharaan rutin dan perbaikan bangunan. Adanya pemeliharaan rutin dan perbaikan bangunan, mengakibatkan makin tingginya biaya keseluruhan siklus proyek. Perhitungan LCC dibutuhkan untuk menganalisa atau meminimalisir nilai ekonomis pada sebuah bangunan dengan mempertimbangkan biaya

operasional sepanjang umur hidup bangunan.

**Life Cycle Cost CO<sub>2</sub> (LCCCO<sub>2</sub>)**

**Analysis**

*Life cycle costing* CO<sub>2</sub> merupakan integrasi dari LCC dan LCA. Pada pekerjaan konstruksi, integrasi LCA dan LCC adalah untuk mengkonversi dampak yang ditimbulkan oleh suatu pekerjaan ke biaya. Emisi CO<sub>2</sub> pada bagian siklus hidup pekerjaan konstruksi akan diintegrasikan dengan besaran biaya untuk memberikan nilai kuantitatif. Nilai kuantitatif dapat digunakan untuk menilai beban lingkungan yang diakibatkan oleh suatu pekerjaan konstruksi.



Sumber : Diunduh dari <https://gin.confex.com/gin/2009/webprogram/Paper2211.html>

Gambar 4. LCA dan LCC pada pekerjaan konstruksi

Penggabungan LCC dan LCA, menurut Ciroth dkk., (2008) LCC akan melengkapi LCA dalam dimensi ekonomi. Penggabungan LCC dan LCA akan memberikan fasilitas penilaian ekoefisiensi yang dapat mempermudah pemahaman dan memperluas target untuk penggunaan dan interpretasi LCA itu sendiri. Penggunaan LCC untuk memberikan evaluasi finansial terhadap pilihan alternatif yang diidentifikasi dalam penilaian LCA. Penggunaan LCA sebagai alat untuk

mengidentifikasi pilihan alternatif dengan kinerja lingkungan yang baik dan kemudian melakukan analisis LCC

**Formula Matematis Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub> Pada Concrete Pump dan Tower Crane**

Emisi CO<sub>2</sub> diestimasi menggunakan model formula matematis yang diformulasikan oleh Hermawan (2017). Adapun estimasi emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh *concrete pump* dapat diperoleh dari persamaan:

$$ETCP = ETM.1 + ETM.2 + ETCP.1 \quad (1)$$

$$ETCP.1 = PCP \cdot t_{CP.1} \cdot M \cdot FE_{BB} \quad (2)$$

Dengan  $ETCP$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan oleh CP,  $ETM.1$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu tunggu TRM,  $ETM.2$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu manuver TRM,  $ETCP.1$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu beton dituang ke dalam

*hopper* dan dipompa,  $PCP$  = kapasitas mesi CP,  $t_{CP.1}$  = waktu beton dituang ke dalam *hopper* dan dipompa,  $M$  = faktor penggunaan bahan bakar untuk moda transportasi bermesin diesel dan  $FE_{BB}$  = faktor emisi bahan bakar solar.

Adapun estimasi emisi  $CO_2$  yang dihasilkan oleh *tower crane* dapat diperoleh dari persamaan:

$$ETTC = ETM.1 + ETM.2 + ETM.3 + ETC.1 + ETC.2 + ETC.3 + ETC.4 + ETC.5 \quad (3)$$

$$ETM.1 = (P_t \cdot t_t \cdot M \cdot FE_{BB}) \cdot k_t \quad (4)$$

$$ETM.2 = P_t \cdot t_m \cdot M \cdot FE_{BB} \quad (5)$$

$$ETM.3 = P_t \cdot t_b \cdot M \cdot FE_{BB} \quad (6)$$

$$ETC.1 = P_{TC} \cdot t_{TC.1} \cdot FE_L \quad (7)$$

$$ETC.2 = P_{TC} \cdot t_{TC.2} \cdot FE_L \quad (8)$$

$$ETC.3 = P_{TC} \cdot t_{TC.3} \cdot FE_L \quad (9)$$

$$ETC.4 = P_{TC} \cdot t_{TC.4} \cdot FE_L \quad (10)$$

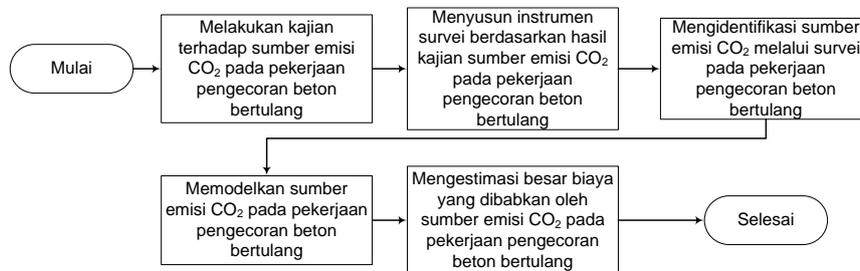
$$ETC.5 = P_{TC} \cdot t_{TC.5} \cdot FE_L \quad (11)$$

Dengan  $ETTC$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan oleh TC,  $ETM.1$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu tunggu TRM,  $ETM.2$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu manuver TRM,  $ETM.3$  = esimi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu muat beton ke *bucket*,  $ETC.1$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu angkat *bucket*,  $ETC.2$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu manuver dalam kondisi *bucket* terisi,  $ETC.3$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu pengecoran,  $ETC.4$  = emisi  $CO_2$  yang dihasilkan dari waktu manuver dalam kondisi *bucket* kosong,  $ETC.5$  = emisi

$CO_2$  yang dihasilkan dari waktu TC kembali ke posisi pengisian *bucket*,  $P_t$  = kapasitas mesin TRM,  $t_t$  = waktu tunggu TRM,  $k_t$  = faktor waktu tunggu mesin diesel,  $t_m$  = waktu manuver TRM,  $t_b$  = waktu muat beton ke *bucket*,  $P_{TC}$  = kapasitas mesin TC,  $t_{TC.1}$  = waktu angkat *bucket*,  $t_{TC.2}$  = waktu manuver dalam kondisi *bucket* terisi,  $t_{TC.3}$  = waktu pengecoran,  $t_{TC.4}$  = waktu manuver dalam kondisi *bucket* kosong,  $t_{TC.5}$  = waktu TC kembali ke posisi pengisian *bucket*,  $FE_L$  = waktu emisi listrik untuk Jawa Madura Bali.

#### 4. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dapat diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Metode penelitian

Survei dilaksanakan di Surabaya dengan obyek penelitian pada Proyek The 100 Square dan Proyek Supermall Pakuwon Indah Tower Benson Phase 4.

#### 5. PEMBAHASAN

Hasil estimasi emisi CO<sub>2</sub> bergantung pada spesifikasi dari alat yang bersangkutan selama proses konstruksi berlangsung. Spesifikasi dari setiap alat diperoleh dari spesifikasi yang disediakan oleh produsen alat tersebut. Adapun *tower crane* menggunakan merk Potain MCT 205, dengan panjang jib sebesar 60 m dan

kapasitas angkat maksimal sebesar 10 ton. *Concrete pump* menggunakan merk Camelway dengan kapasitas maksimum sebesar 48 m<sup>3</sup>/m. Sedangkan *truck ready mix* menggunakan merk HINO dengan kapasitas 7 m<sup>3</sup>. Berdasarkan data spesifikasi alat dan lama waktu penggunaan alat yang bersangkutan, diperoleh hasil estimasi emisi CO<sub>2</sub> yang dapat dilihat pada tabel 1,2,3 dan 4.

Tabel 1. Hasil Estimasi Emisi CO<sub>2</sub> yang Dihasilkan Oleh TC pada Proyek The 100 Square

| No Truck       | Siklus | ETM1 (kg.CO <sub>2</sub> ) | ETM2 (kg.CO <sub>2</sub> ) | ETM3 (kg.CO <sub>2</sub> ) | ETC1 (kg.CO <sub>2</sub> ) | ETC2 (kg.CO <sub>2</sub> ) | ETC33 (kg.CO <sub>2</sub> ) | ETC4 (kg.CO <sub>2</sub> ) | ETC5 (kg.CO <sub>2</sub> ) | TOTAL (kg.CO <sub>2</sub> ) |
|----------------|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| TM894          | 1      | 19.869                     | 1.881                      | 1.473                      | 0.523                      | 0.314                      | 6.281                       | 0.236                      | 0.981                      | 31.559                      |
|                | 2      | 6.300                      | 0.000                      | 1.567                      | 0.576                      | 0.340                      | 6.321                       | 0.301                      | 0.680                      | 16.086                      |
|                | 3      | 6.375                      | 0.000                      | 1.316                      | 0.576                      | 0.393                      | 6.294                       | 0.157                      | 0.851                      | 15.962                      |
|                | 4      | 4.645                      | 0.000                      | 1.442                      | 0.563                      | 0.484                      | 4.017                       | 0.196                      | 0.628                      | 11.976                      |
|                | 5      | 4.692                      | 0.000                      | 1.285                      | 0.615                      | 0.288                      | 3.873                       | 0.222                      | 0.772                      | 11.748                      |
|                | 6      | 4.673                      | 0.000                      | 1.348                      | 0.576                      | 0.327                      | 3.664                       | 0.327                      | 0.746                      | 11.661                      |
|                | 7      | 4.692                      | 0.000                      | 1.285                      | 0.602                      | 0.419                      | 3.625                       | 0.301                      | 0.680                      | 11.604                      |
|                | 8      | 4.185                      | 0.000                      | 1.097                      | 0.523                      | 0.340                      | 3.586                       | 0.327                      | 0.563                      | 10.621                      |
| <b>121,218</b> |        |                            |                            |                            |                            |                            |                             |                            |                            |                             |
| TM883          | 1      | 7.532                      | 1.881                      | 1.379                      | 0.576                      | 0.353                      | 4.921                       | 0.301                      | 0.602                      | 17.545                      |
|                | 2      | 5.116                      | 0.000                      | 1.505                      | 0.537                      | 0.327                      | 4.868                       | 0.209                      | 0.510                      | 13.072                      |
|                | 3      | 4.786                      | 0.000                      | 1.285                      | 0.563                      | 0.340                      | 4.607                       | 0.236                      | 0.667                      | 12.484                      |
|                | 4      | 4.843                      | 0.000                      | 1.411                      | 0.550                      | 0.393                      | 4.292                       | 0.262                      | 0.563                      | 12.312                      |
|                | 5      | 4.890                      | 0.000                      | 1.567                      | 0.628                      | 0.327                      | 4.187                       | 0.249                      | 0.720                      | 12.568                      |
|                | 6      | 4.316                      | 0.000                      | 1.285                      | 0.602                      | 0.301                      | 3.664                       | 0.236                      | 0.654                      | 11.058                      |
|                | 7      | 3.554                      | 0.000                      | 1.316                      | 0.550                      | 0.288                      | 2.944                       | 0.262                      | 0.602                      | 9.516                       |
|                | 8      | 3.573                      | 0.000                      | 0.784                      | 0.484                      | 0.314                      | 2.617                       | 0.196                      | 0.458                      | 8.426                       |
| <b>96,981</b>  |        |                            |                            |                            |                            |                            |                             |                            |                            |                             |

Tabel 2. Hasil Estimasi Emisi CO<sub>2</sub> yang Dihasilkan Oleh CP pada Proyek The 100 Square

| Siklus | ETM1<br>(kg.CO2) | ETM2<br>(kg.CO2) | ETCP1<br>(kg.CO2) | TOTAL<br>(kg.CO2) |
|--------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1      | 20,921           | 1,881            | 15,089            | 37,890            |
| 2      | 18,889           | 1,881            | 14,582            | 35,352            |
|        |                  |                  |                   | <b>73,242</b>     |

Tabel 3. Hasil Estimasi Emisi CO<sub>2</sub> yang Dihasilkan Oleh TC pada Proyek Supermall Pakuwon Indah

| No Truck | Siklus | ETM1<br>(kg.CO2) | ETM2<br>(kg.CO2) | ETM3<br>(kg.CO2) | ETC1<br>(kg.CO2) | ETC2<br>(kg.CO2) | ETC33<br>(kg.CO2) | ETC4<br>(kg.CO2) | ETC5<br>(kg.CO2) | TOTAL<br>(kg.CO2) |
|----------|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| TM100    | 1      | 9.695            | 0.000            | 1.160            | 1.858            | 1.309            | 10.063            | 1.086            | 1.767            | 26.937            |
|          | 2      | 6.554            | 0.000            | 1.160            | 1.583            | 1.335            | 5.588             | 0.916            | 1.897            | 19.033            |
|          | 3      | 7.805            | 0.000            | 1.285            | 1.727            | 1.413            | 7.276             | 1.008            | 1.858            | 22.372            |
|          | 4      | 5.294            | 0.000            | 1.034            | 2.172            | 1.570            | 3.429             | 0.981            | 1.884            | 16.365            |
|          |        |                  |                  |                  |                  |                  |                   |                  |                  | <b>84,708</b>     |
| TM926    | 1      | 9.196            | 0.000            | 1.097            | 1.701            | 1.269            | 6.412             | 0.955            | 1.832            | 22.464            |
|          | 2      | 9.319            | 0.000            | 1.066            | 1.806            | 1.165            | 6.608             | 0.981            | 1.845            | 22.790            |
|          | 3      | 8.867            | 0.000            | 1.191            | 1.610            | 1.230            | 6.150             | 0.916            | 1.754            | 21.718            |
|          | 4      | 9.347            | 0.000            | 1.254            | 1.740            | 1.309            | 6.334             | 1.086            | 1.897            | 22.967            |
|          | 5      | 9.234            | 0.000            | 1.285            | 1.767            | 1.348            | 6.059             | 1.060            | 1.871            | 22.624            |
|          | 6      | 8.943            | 0.000            | 1.160            | 1.819            | 1.335            | 5.823             | 1.008            | 1.793            | 21.880            |
|          | 7      | 8.764            | 0.000            | 1.097            | 1.662            | 1.439            | 5.601             | 1.073            | 1.819            | 21.455            |
|          | 8      | 8.604            | 0.000            | 0.940            | 1.714            | 1.322            | 5.444             | 1.060            | 1.845            | 20.929            |
|          |        |                  |                  |                  |                  |                  |                   |                  |                  | <b>176,827</b>    |

Tabel 4. Hasil Estimasi Emisi CO<sub>2</sub> yang Dihasilkan Oleh CP pada Proyek Supermall Pakuwon Indah

| Siklus | ETM1<br>(kg.CO2) | ETM2<br>(kg.CO2) | ETCP1<br>(kg.CO2) | TOTAL<br>(kg.CO2) |
|--------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1      | 28,210           | 1,881            | 16,667            | 46,758            |
| 2      | 31,031           | 1,881            | 16,203            | 49,114            |
|        |                  |                  |                   | <b>95,872</b>     |

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bagian di atas, maka dapat disimpulkan:

- a. Besar emisi CO<sub>2</sub> pada Proyek The 100 Square kurang lebih sebesar 291,44 kg.CO<sub>2</sub>.
- b. Besar emisi CO<sub>2</sub> pada Proyek Supermall Pakuwon Indah kurang lebih sebesar 357,41 kg.CO<sub>2</sub>.
- c. Besar biaya yang disebabkan oleh besar emisi CO<sub>2</sub> pada Proyek The 100 Square kurang lebih sebesar Rp. 1.765.488,00
- d. Besar biaya yang disebabkan oleh besar emisi CO<sub>2</sub> pada Proyek Supermall Pakuwon Indah kurang lebih sebesar Rp. 1.837.935,00.
- e. Perbedaan besar emisi CO<sub>2</sub> pada *tower crane* dan *concrete pump* dapat diindikasikan karena perbedaan ketinggian lantai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bribián, I.Z., Capilla, A.V., dan Usón, A.A. (2011): Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential, *Building and Environment*, 8 (5), 1133-1140.
- Chou, J., dan Yeh, K. (2015): Life cycle carbon dioxide emissions simulation and environmental cost analysis for building construction, *Journal of Cleaner Production*, 101, 137-147.
- Data Peringkat Kota Berdasarkan Total Bangunan yang Telah Diselesaikan diperoleh melalui situs internet: <http://www.skyscrapercenter.com/countries?list=buildings>; pada hari Senin, 1 Januari 2018, pukul 20:49 WIB.
- Guggemos, A.A., dan Horvath, A. (2005): Comparison of environmental effects of steel and concrete framed buildings, *Journal of Infrastructure System*, 11 (2), 93-101.
- Hermawan. (2011): Pengembangan model jejak karbon pada pelaksanaan pekerjaan struktur atas beton bertulang untuk konstruksi bangunan tingkat tinggi di Indonesia. Program Studi Doktor Institut Teknologi Bandung.
- 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.
- Hong, J., Shen, G.Q., Feng, Y., Lau, W.S., dan Mao, C. (2014): Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: a case study in China, *Journal of Cleaner Production*, 103, 249-259.
- Johannessen, B. (2008): Building rural roads, chapter 12, 1st ed. Bangkok, Thailand: ILO
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2016): Data inventory emisi GRK sektor energi. Pusat Data dan Teknologi Informasi Enerdi dan Sumber Daya Mineral KESDM. Jakarta Pusat.
- Kim, S., Whang, S., Kim, G., dan Shin, Y. (2015): Comparative study on the construction cost including carbon emission cost for masonry walls, *Energy and Buildings*, 96, 187-192.
- LCA dan LCC pada pekerjaan konstruksi diperoleh melalui situs internet: <https://gin.confex.com/gin/2009/webprogram/Paper2211.html>; pada Minggu, 21 Januari 2018, pukul 18:24 WIB.
- Loftabadi, P. (2014): High-rise buldings and environmental factors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 285-295.
- McCormac, J. C. (2004): Desain beton bertulang jilid 2. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Nielsen, C.V. (2008): Carbon footprint of concrete buildings seen in the life cycle perspective, *National Ready Mixed Concrete Association*.

- Nilai konstruksi yang diselesaikan menurut jenis pekerjaan diperoleh melalui situs internet: <https://www.bps.go.id/statictable/2016/10/17/918/nilai-konstruksi-yang-diselesaikan-menurut-jenis-pekerjaan-juta-rupiah-2004-2016.html>; pada hari Kamis, 25 Januari 2018, pukul 21:10 WIB.
- Pekerjaan pengecoran beton bertulang diperoleh melalui situs internet: <http://engineering.columbia.edu/christian-meyer-making-concrete-%E2%80%9Cgreen%E2%80%9D>; pada hari Selasa, 6 Februari 2018, pukul 19:05 WIB.
- Persentase gas rumah kaca di bumi dan persentase emisi CO<sub>2</sub> dalam sektor ekonomi diperoleh melalui situs internet: United States Environmental Protection Agency <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>; pada hari Jumat, 19 Januari 2018, pukul 19:05 WIB.
- Pirkko, S., dan T. Nyronen. (1990): The carbon emissions and peat production, International Conference on Peat Production and Use, 1 (8), 150-157.
- Seo, S., dan Hwang, Y. (2001): Estimation of CO<sub>2</sub> in life cycle of residential buildings, Journal of Construction Engineering and Management, 127 (5), 414-418.
- Truitt, P. (2009). Potential for reducing greenhouse gas emission in the construction sector. Pennsylvania Ave: National Construction Sector Lead.
- Wongkar, Y. K. (2016): Analisis life cycle cost pada pembangunan gedung (studi kasus: sekolah St. Ursula Kotamobagu), Jurnal Sipil Statik, 4 (4), 253-262.
- Zhao, H., dan Magoulès, F. (2012): A review on the prediction of building energy consumption, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (6), 3586-3592.