

# Perhitungan *Carbon Footprint* pada Perusahaan Peleburan Logam di Surabaya

Togar W. Panjaitan<sup>1</sup>, Yenny Bendatu<sup>1</sup>, Hutomo Saputra<sup>1</sup>

**Abstract:** Carbon footprint is a measure of the amount of greenhouse gases generated from production activities. PT. X is a company which engaged in the melting industry and it aims to export. This research aims to determine carbon footprint of Bronze and PB products that divide into 3 scopes. The 3 scopes are materials, energy, and transportation. The results of this research show the carbon footprint of Bronze products are 13.898,16 kgsCO<sub>2</sub>e, while the carbon footprints of PB products are 113.393,322 kgsCO<sub>2</sub>e. Average emissions from Bronze and PB products are higher than average emissions of several countries so it can be said that currently the company needs to reduce the emissions before exporting the product. Some improvements can be made to improve the emmissions by replacing the energy from electricity to gas and changing the delivery system.

**Keywords:** Carbon footprint, CO<sub>2</sub>, energy, Bronze, PB.

## Pendahuluan

Pemanasan global telah menjadi perhatian di dunia industri saat ini. Emisi karbon yang dihasilkan oleh aktifitas industri menjadi salah satu hal yang mulai diperhatikan termasuk industri yang akan melakukan ekspor. PT X merupakan industri yang bergerak di bidang peleburan logam dan berkeinginan melakukan ekspor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah *carbon footprint* yang dihasilkan oleh PT. X. Perhitungan *carbon footprint* yang dihasilkan di PT. X akan dibandingkan dengan nilai emisi rata-rata dari Negara Indonesia dan Negara lain dan memberikan usulan langkah perbaikan apa saja yang perlu dilakukan oleh PT. X. Penelitian ini dilakukan untuk produk Bronze dan Phospor Bronze dengan periode data dari bulan Februari 2014 hingga April 2014.

Penelitian mengenai *carbon footprint* pernah dilakukan oleh Yanto [1] yang berasal dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penelitian tersebut membahas tentang *carbon footprint* sekunder di gedung akademis di ITS, Surabaya di mana data faktor konversi energi listrik yang dihitung dapat diadopsi ke dalam penelitian ini. Kesamaan dari penelitian Yanto adalah dari sisi lokasi yang sama di mana pembangkit listrik yang digunakan juga berasal dari pulau Jawa, sedangkan perbedaannya adalah dari sisi lingkup.

## Metode Penelitian

### *Carbon Footprint*

*Carbon footprint* adalah suatu ukuran jumlah total dari *carbon footprint* karbon dioksida yang secara langsung maupun tidak langsung yang dikarenakan aktivitas manusia yang berlebih dalam penggunaan listrik, bahan bakar fosil, dan energi lainnya. Satuan pengukuran yang digunakan adalah gas karbon dioksida. *Carbon footprint* dibedakan menjadi 2 macam [2,3], yaitu:

#### *Footprint Primer*

*Footprint primer* adalah tolak ukur untuk *carbon footprint* langsung CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar, termasuk konsumsi energi domestik dan transportasi (mobil, kereta, pesawat, dll)

#### *Footprint Sekunder*

*Footprint sekunder* adalah tolak ukur *carbon footprint* tidak langsung CO<sub>2</sub> dari *lifecycle* produk-produk yang digunakan atau yang dihasilkan. Semakin banyak perusahaan membeli produk, maka semakin banyak *carbon footprint* yang dihasilkan perusahaan tersebut.

### Faktor Emisi

Faktor emisi merupakan nilai rata-rata dari parameter pencemaran udara yang dikeluarkan sumber spesifik. Faktor-faktor ini banyak dinyatakan sebagai berat polutan dibagi dengan satuan berat, volume, jarak, ataupun lamanya aktivitas yang dapat mengeluarkan emisi. Adanya variasi tersebut, menimbulkan ekspresi faktor *carbon footprint* dengan unit yang berbeda [4].

$$EF = SFC \times NCV \times CEF \times Oxid \times 44/12 \quad (1)$$

<sup>1</sup>Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Petra. Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Email: togar@petra.ac.id, yenny@petra.ac.id, huto\_sip@yahoo.com

Dimana:

$EF = Emission\ factor$

$SFC = Specific\ fuel\ consumption\ kiloton\ (kiloton\ fuel/Mega\ Watt\ hour)$

$NCV = Net\ Calorific\ Value\ ton\ joule/kiloton\ fuel\ (ton\ Joule/kiloton\ fuel)$

$CEF = Carbon\ Emission\ Factor\ (ton\ CO_2/ton\ Joule)$

$Oxid = Oxidation\ factor$

Setelah didapatkan faktor emisi, maka perhitungan jumlah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan menggunakan rumus berikut:

$$\text{kg CO}_2 = EF \cdot \text{pemakaian listrik (kiloWatt)} \quad (2)$$

### Gas Rumah Kaca/GHG (Greenhouse Gas)

Berdasarkan GHG (Greenhouse Gas) Protocol, Perusahaan Standard klasifikasi *carbon footprint* membagi gas rumah kaca ke dalam 3 lingkup [5], yaitu:

#### Lingkup 1

Lingkup 1 merupakan *carbon footprint* langsung dari sumber yang dimiliki atau dikendalikan. *Carbon footprint* yang muncul berasal dari segala sumber daya yang dimiliki oleh perusahaan, contohnya: mesin, *air conditioner*, etc.

#### Lingkup 2

Lingkup 2 merupakan *carbon footprint-carbon footprint* tidak langsung. *Carbon footprint* tersebut berasal dari sumber daya yang bukan dari perusahaan, namun digunakan oleh perusahaan, contohnya: listrik.

#### Lingkup 3

Lingkup 3 merupakan *carbon footprint* tidak langsung dan di luar lingkup 2. *Carbon footprint* yang muncul bukan berasal dari sumber daya yang dimiliki perusahaan tetapi berhubungan dengan aktivitas dari perusahaan, contohnya: penggunaan jasa angkut dari vendor.

### Konversi dan Material

Konversi adalah perubahan dari satu bentuk (rupa, dsb) ke bentuk (rupa, dsb) yang lain. Material adalah bahan yg akan dipakai untuk membuat barang lain [6,7,8,9,10].

### Benchmark

**Tabel 1.** Emisi rata-rata peleburan

| Nama Negara   | toe/t |
|---------------|-------|
| Indonesia     | 0,46  |
| Australia     | 0,4   |
| Filipina      | 0,6   |
| Thailand      | 0,31  |
| Jepang        | 0,37  |
| Korea Selatan | 0,32  |
| Taiwan        | 0,3   |
| China         | 0,49  |
| India         | 0,51  |

Emisi negara untuk ekspor akan disesuaikan dengan negara yang dituju. Emisi untuk setiap negara tidak akan dihitung dengan lingkup 1 dan lingkup 3, namun hanya akan dibandingkan dengan lingkup 2. Beberapa nilai emisi rata-rata negara mengenai emisi peleburan dapat dilihat pada Tabel 1.

## Hasil dan Pembahasan

### Sand Casting Process

Proses awal dari *Sand Casting Process* adalah *molding* atau pembuatan *mold*. *Mold* merupakan replika dari benda yang dipesan *customer* dengan menggunakan bahan kayu.

Proses kedua adalah peleburan logam di bagian dapur. Proses peleburan memakan waktu selama 1-2 jam. Selain peleburan, bagian dapur juga mempunyai area untuk membuat cetakan dari logam yang dilebur. Pembuatan cetakan ini berbahan pasir silica dan proses pembentukannya menggunakan *mold* yang telah dibuat melalui proses *molding*.

Setelah cetakan selesai dibuat, cetakan tersebut dikeringkan hingga keras dengan menggunakan CO<sub>2</sub>. Cetakan yang telah menjadi keras akan diberi *coating*, terutama di bagian yang terkena logam panas. Proses *coating* adalah proses pelapisan cetakan dengan menggunakan bahan *coating*. Setelah dilapisi dengan bahan *coating*, cetakan akan melalui proses pembakaran. Pembakaran ini bertujuan untuk mengeringkan cetakan yang telah dilapisi bahan *coating*.

Proses berikutnya adalah proses penuangan logam panas cair ke cetakan. Setelah proses penuangan, maka akan dilakukan proses pendinginan selama 1-2 jam hingga cairan logam panas membeku. Pada saat logam telah membeku, maka bongkahan cetakan akan dipecahkan supaya logam dapat diambil. Setelah logam diambil, maka logam tersebut akan dibersihkan dan dilanjutkan proses finishing. Proses finishing meliputi pembersihan, penambalan, bahkan pembentukan sesuai spesifikasi yang diminta oleh customer.

**Tabel 2.** Harga bahan baku yang dipakai di PT. X

| Nama Barang     | Harga/Satuan | Satuan        |
|-----------------|--------------|---------------|
| Bronze/PB       | Rp 63.000,-  | kg            |
| CO <sub>2</sub> | Rp 720.000,- | Botol (20 Kg) |
| O <sub>2</sub>  | Rp 52.000,-  | Botol (20 Kg) |
| LPG             | Rp 895.000,- | Botol (50 Kg) |
| Phospor Cooper  | Rp 27.500,-  | kg            |
| Refkote 511     | Rp 20.500,-  | kg            |
| Pasir Silica    | Rp 190,-     | kg            |

### Faktor Carbon footprint Lingkup 1

Harga material didapatkan dari data perusahaan. Tabel 2 menunjukkan harga bahan baku yang digunakan oleh PT. X. Berikut adalah rumus perhitungan untuk setiap produk:

$$\text{Biaya CO}_2 = \frac{\text{Pemakaian}}{\text{Produksi}} \times \text{harga per satuan} \quad (3)$$

Perhitungan untuk Phospor Copper dan Refkote 511 (*coating*) berbeda dengan material yang lain. Phospor Copper akan diambil berdasarkan data yang tercatat dalam buku masak. Refkote 511 yang digunakan akan diasumsikan sebagai berikut:

$$\text{Coating} = \frac{\text{harga per kilogram} \times \text{pemakaian}}{4} \quad (4)$$

Biaya lainnya yang perlu diperhitungkan adalah biaya untuk membayar karyawan, bahan bakar untuk sebuah *forklift*, internet, dan telepon. Biaya untuk setiap produk juga didapatkan dengan membagi biaya penggunaan internet, bahan bakar untuk *forklift*, dan total gaji karyawan dengan jumlah produk yang dihasilkan dalam satu bulan.

Perhitungan emisi yang dihasilkan oleh lingkup 1 juga dilakukan untuk setiap produk PB dan Bronze dengan menggunakan nilai konversi.

### Faktor Carbon footprint Lingkup 2

Biaya listrik akan diasumsikan berdasarkan pada tarif dasar listrik dari PLN yang diberi oleh PT. X. Tarif dasar listrik industri yang digunakan ada 2, yaitu siang (6 pagi hingga 6 petang) dan malam (6 petang hingga 6 pagi). Proses di dapur dan bengkel dilakukan di siang hari, sedangkan di malam hari hanya terdapat proses di bengkel. Bengkel beroperasi selama 24 jam, sedangkan dapur hanya beroperasi dari jam 8 pagi hingga 5 sore. Tarif listrik untuk siang hari adalah Rp 2.000,- per kWh dan malam adalah Rp 2.250,- per kWh. Pada bengkel diasumsikan ditambah dengan sebuah lampu dengan daya 400 Watt yang akan dinyalakan selama jam malam untuk setiap 1 mesin. Perhitungan biaya listrik pada dapur dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Biaya Dapur} = \text{daya} \times \text{waktu} \times \text{tariff per kWh} \quad (5)$$

**Tabel 3.** Customer bronze dan PB PT. X

| Nama  | Jenis Barang | Lokasi    | Jarak (km) |
|-------|--------------|-----------|------------|
| PT. A | Bronze       | Waru      | 6,9        |
| PT. B | Bronze       | Perak     | 23,5       |
| PT. C | Bronze       | Jakarta   | 793        |
| PT. D | PB           | Jember    | 193        |
| PT. E | PB           | Bondowoso | 198        |
| PT. F | PB           | Ngawi     | 193        |
| PT. G | PB           | Gresik    | 25,5       |

Perhitungan biaya listrik pada bengkel sedikit berbeda dengan perhitungan untuk dapur. Perhitungannya dilakukan sebagai berikut:

$$\text{Biaya Bengkel} = \frac{\text{daya} \times \text{waktu}}{2 \times \text{efisiensi}} \times \text{tarif per kWh} + \left( \frac{\text{daya} \times \text{waktu}}{2 \times \text{efisiensi}} + \text{daya lampu} \times \text{waktu} \right) \times \text{tarif per kWh malam} \quad (5)$$

Perhitungan emisi yang dihasilkan oleh lingkup 2 juga dilakukan untuk setiap produk PB dan Bronze dengan menggunakan nilai konversi.

### Faktor Carbon footprint Lingkup 3

Perhitungan biaya dan emisi untuk transportasi akan disesuaikan dengan jarak yang ada. Jarak yang dihitung akan dikalikan dua untuk pergi dan pulang. Jarak total akan dibagi dengan rasio bahan bakar kendaraan yang digunakan, yaitu 7:1. Transportasi yang dihitung ada empat, antara lain jarak *supplier* dengan pabrik, jarak pabrik dengan *customer*, jarak rumah ke pabrik untuk setiap karyawan, dan *top management*. Perhitungan dilakukan seperti contoh berikut.

$$\text{Biaya transportasi} = \frac{\text{Total Jarak}}{7} \times \text{biaya bahan bakar} \quad (6)$$

Perhitungan emisi yang dihasilkan oleh lingkup 3 juga dilakukan untuk setiap produk PB dan Bronze dengan menggunakan nilai konversi.

### Total Biaya

Total biaya untuk salah satu produk Bronze dari lingkup 1, 2 dan 3 dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Tabel perhitungan total biaya produk bronze Ø340 x Ø130 x 1280

| Nama Bahan                        | Biaya (Rp)           |
|-----------------------------------|----------------------|
| Bronze                            | 44.730.000,00        |
| Listrik Dapur                     | 1.000.000,00         |
| Listrik Bengkel Siang             | 2.403.323,08         |
| Listrik Bengkel Malam             |                      |
| CO <sub>2</sub>                   | 177.485,03           |
| LPG                               | 8.932,14             |
| Forklift                          | 648,70               |
| Bahan bakar <i>supplier</i>       | 160.642,86           |
| Bahan bakar <i>customer</i>       | 12.814,29            |
| Pasir Silica                      | 1.365,27             |
| Phospor Copper                    | 412.500,00           |
| <i>Coating</i>                    | 128.125,00           |
| Bahan bakar <i>top management</i> | 1.007,34             |
| Bahan bakar karyawan              | 81,13                |
| Internet                          | 658,68               |
| Telepon                           | 5.310,00             |
| Gaji Karyawan                     | 459.081,84           |
| <b>Total</b>                      | <b>49.501.968,26</b> |

**Tabel 5.** Total biaya untuk setiap jenis bahan

| Produk | Total biaya (Rp) |
|--------|------------------|
| Bronze | 274.468.322,65   |
| PB     | 1.060.313.633,94 |

**Tabel 6.** Tabel perhitungan total emisi produk bronze Ø340 x Ø130 x 1280

| Jenis barang                      | kgsCO <sub>2e</sub> |
|-----------------------------------|---------------------|
| Bronze                            | 1.136               |
| Listrik dapur                     | 270                 |
| Listrik bengkel                   | 599,749             |
| CO <sub>2</sub>                   | 4,93                |
| LPG                               | 1,464               |
| Forklift                          | 0,26                |
| Bahan bakar <i>supplier</i>       | 64,277              |
| Bahan bakar <i>customer</i>       | 5,127               |
| Bahan bakar <i>top management</i> | 0,403               |
| Bahan bakar karyawan              | 0,043               |
| Pasir Silica                      | 0,043               |
| Phosphor Copper                   | 43,5                |
| <i>Coating</i>                    | 1,688               |
| Total                             | 2.127,474           |

Pada Tabel 5 terlihat total biaya untuk produk Bronze lebih kecil dari produk PB. Hal ini dikarenakan biaya material dan biaya listrik bengkel yang dikonsumsi untuk material PB lebih besar dibandingkan dengan material Bronze.

**Total Carbon Footprint**

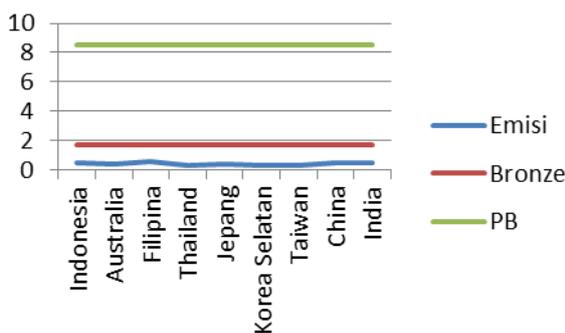
Total emisi untuk salah satu produk dari lingkup 1, 2 and 3 dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 7.** Total emisi untuk setiap jenis bahan

| Produk | kgsCO <sub>2e</sub> |
|--------|---------------------|
| Bronze | 13.898,160          |
| PB     | 112.393,322         |

**Tabel 8.** Nilai emisi lingkup

| Nama Produk | Nilai Emisi Rata-rata (kgsCO <sub>2e</sub> /kg) |
|-------------|---|
| Bronze      | 1,696   |
| PB          | 8,556   |



**Gambar 1.** Perbandingan emisi rata-rata negara dengan PT. X

Pada Tabel 7 terlihat total emisi untuk produk Bronze lebih kecil dari produk PB. Hal ini dikarenakan pemakaian jumlah material dan listrik bengkel untuk produk PB lebih besar dibandingkan dengan produk Bronze. Oleh karena itu listrik bengkel yang akan menjadi fokus perbaikan sedangkan jumlah material tidak dapat diubah untuk saat ini.

**Benchmark dengan Negara Pemandang**

Tabel 8 menunjukkan nilai emisi rata-rata dari lingkup 2 dari produk Bronze dan PB yang dihasilkan oleh perusahaan.

Perbandingan emisi rata-rata antara perusahaan dengan Negara Indonesia dan Negara lainnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa emisi produk Bronze dan produk PB dari PT. X melebihi standar rata-rata yang diijinkan baik di Indonesia dan juga negara lain sehingga dapat dikatakan PT. X belum layak melakukan ekspor.

**Perbaikan Lingkup 2**

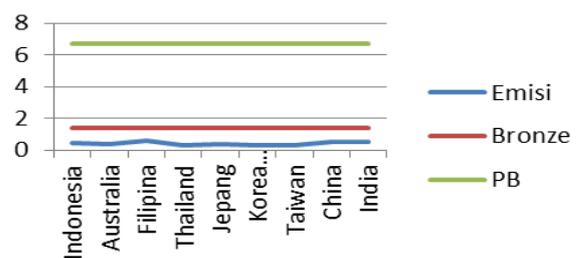
Perbaikan perlu dilakukan oleh PT.X dikarenakan hasil yang didapat dari Gambar 1 masih belum memenuhi kriteria. Perbaikan yang dilakukan adalah peningkatan efisiensi mesin dengan menerapkan sistem *planned maintenance*. Asumsi yang diberikan oleh perusahaan saat ini adalah 0,65 dan 0,7. Apabila dilakukan maintenance berkala, maka efisiensi mesin dapat meningkat menjadi 0,85 dan 0,9. Perhitungan emisi lingkup 2 dengan menggunakan efisiensi mesin yang baru dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Nilai emisi Lingkup 2 setelah perbaikan

| Nama Produk | Nilai Emisi Rata-rata (kgsCO <sub>2e</sub> /kg) |
|-------------|---|
| Bronze      | 1,384   |
| PB          | 6,716   |

**Tabel 10.** Hasil pengurangan setelah perbaikan

| Pengiriman            | Pengurangan Emisi          |
|-----------------------|----------------------------|
| 1 pengiriman 2 produk | 106,26 kgsCO <sub>2e</sub> |
| 1 pengiriman 3 produk | 212,52 kgsCO <sub>2e</sub> |



**Gambar 2.** Perbandingan emisi rata-rata negara dengan PT. X setelah perbaikan

Terlihat bahwa nilai emisi setelah peningkatan efisiensi dapat berkurang sekitar 20% untuk masing-masing jenis produk. Perbandingan emisi rata-rata yang baru antara perusahaan dengan Negara Indonesia dan Negara lainnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Terlihat bahwa hasil emisi tersebut masih di atas nilai emisi di Indonesia dan negara lain. Perbaikan yang dapat dilakukan adalah dengan penggantian sumber energi yang digunakan. Sumber energi yang digunakan saat ini adalah listrik. Perusahaan dapat mempertimbangkan sumber energi yang lebih bersih dan memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi misalnya dengan menggunakan gas.

### Perbaikan Lingkup 3

Pengubahan sistem pengiriman dari 1 pengiriman untuk 1 produk menjadi 1 pengiriman untuk 2 atau lebih dari 2 produk yang berasal dari *customer* yang sama. Pengubahan sistem pengiriman dilakukan juga menjadi 1 pengiriman untuk 3 produk dari *customer* yang sama. Tabel 10 menunjukkan pengurangan emisi untuk perubahan system pengiriman menjadi 2 produk dan 3 produk.

### Simpulan

PT. X berkeinginan untuk melakukan ekspor. Perhitungan emisi untuk produk Bronze dan PB adalah 1,696 kgsCO<sub>2e</sub>/kg dan 8,556kgsCO<sub>2e</sub>/kg. Hasil menunjukkan bahwa emisi yang dihasilkan oleh perusahaan masih melebihi standar rata-rata yang diijinkan baik di Indonesia maupun Negara sekitar.

Lingkup yang paling berpengaruh adalah lingkup 2 yaitu penggunaan material dan listrik bengkel. Penggunaan material tidak dapat diubah untuk saat ini sehingga focus perbaikan dilakukan pada listrik bengkel. Peningkatan efisiensi mesin kurang menunjukkan hasil yang signifikan di mana nilai emisi perusahaan masih melebihi standar.

Oleh karena itu, penggantian sumber energy dari listrik ke gas perlu dipertimbangkan.

Selain lingkup 2, lingkup 3 juga perlu ditingkatkan yaitu perubahan pada sistem pengiriman produk dengan penggabungan beberapa produk untuk dikirim. Perubahan sistem pengiriman produk dapat mengurangi emisi dan biaya pada tiap produk.

### Daftar Pustaka

1. Yanto, S., *Assessment of Secondary Carbon Footprint from Academic Activities at ITS Surabaya*, Institute Teknologi Sepuluh November, 2102.
2. Roosa, S. A., *Carbon Reduction: Policies, Strategies, and Technologies*, The Fairmont Press, Inc., 2009.
3. Rouse, M., *Carbon footprint*, 2010, retrieved from <http://whatis.techtarget.com/definition/carbon-footprint>.
4. IPCC, *Revised 2006 Inter-governmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas*, IPCC, 2006.
5. World Energy Council, *Energy Efficiency Indicator*, retrieve from <http://www.wec-indicators.enerdata.eu/secteur.php#/unit-consumption-of-steel.html> on 30 juni 2014.
6. Definisi Konversi dan Material, 2014, Kamus Besar Bahasa Indonesia, 23 Juli 2014, retrieve from <http://kbbi.web.id/>
7. GEDD, *Conversion Factors*, Carbon Trust, 2013.
8. Tempo Bisnis, *Industri Baja dan Kertas Didesak Turunkan Emisi Karbon*, 2010, retrieve from <http://www.tempo.co/read/news/2010/11/23/090293809/Industri-Baja-dan-Kertas-Didesak-Turunkan-Emisi-Karbon> on 30 Juni 2014.
9. Thrane, M., *Journal of Industrial Ecology*, Yale University, 2008.
10. Walser, M. L., *Carbon Footprint Articles of Encilopedia of Earth*, 2010, retrieved from <http://www.eoearth.org/article/Carbon.footprint> on 20 Januari 2014