

## PENGUKURAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI MATERIAL KONSTRUKSI BANGUNAN-BANGUNAN GUDANG DI KABUPATEN TANGERANG

Derry Rijken Irahadi<sup>1\*</sup>, Lusiana Idawati<sup>2</sup>, Manlian Ronald A. Simanjuntak<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Prodi S2 Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan

<sup>2</sup> Dosen Prodi S2 T. Sipil, Universitas Pelita Harapan,

<sup>3</sup> Guru Besar & Kaprodi S2 T. Sipil, Universitas Pelita Harapan

\*Email: derry.iraahadi@gmail.com

### Abstrak

Salah satu penyebab perubahan iklim adalah meningkatnya emisi gas rumah kaca yang disebabkan aktivitas manusia. Menurut penelitian International Energy Agency, kegiatan industri konstruksi menyebabkan 20% dari emisi gas rumah kaca di seluruh dunia. Di Indonesia, kegiatan industri konstruksi menyebabkan 25% dari emisi gas rumah kaca. Dengan bertumbuhnya industri konstruksi dan upaya menurunkan emisi gas rumah kaca di industri lain, maka mengurangi emisi gas rumah kaca industri konstruksi menjadi lebih penting untuk diperhatikan. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh estimasi kuantitas emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh material konstruksi suatu kawasan pergudangan di Tangerang dengan menggunakan teknik Work Breakdown Structure. Penelitian ini meliputi studi pustaka untuk menentukan bahwa definisi pekerjaan yang terhitung untuk penelitian ini adalah cradle-to-gate, dimana hanya emisi gas rumah kaca dari material konstruksi terhitung. Work Breakdown Structure dipakai untuk menguraikan kuantitas berbagai material konstruksi, menggunakan data rekaman proyek serta hasil studi literatur yang dipakai untuk menghitung emisi gas rumah kaca dari setiap jenis material. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa material cat baja (29%), baja (27%), dan beton (26%) paling menyebabkan emisi gas rumah kaca, sehingga penelitian selanjutnya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca di bidang konstruksi pergudangan seharusnya lebih berfokus terhadap upaya mengurangi emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh pemakaian material tersebut.

**Kata kunci:** CO<sub>2</sub>, Emisi Gas Rumah Kaca, Inventarisasi Emisi

### PENDAHULUAN

Ada pemanasan permukaan bumi yang diakibatkan kegiatan manusia, terutamanya karena emisi gas rumah kaca yang lebih banyak menahan sinar inframerah yang keluar dari permukaan bumi. Gas rumah kaca dengan efek terbesar adalah karbon dioksida. Pemanasan global akan menurunkan kualitas lingkungan hidup, dengan efek-efek yang termasuk permukaan laut naik, badai-badai yang lebih sering dan lebih kuat, perubahan suhu permukaan di berbagai tempat, dan perubahan pola hujan (IPCC). Efek yang paling besar untuk manusia adalah pengurangan hasil pertanian yang menyebabkan kelaparan, dan banjir di kota di tepi laut. Indonesia sebagai negara kepulauan tropis sangat sensitif terhadap perubahan iklim, terutama pada terumbu karang yang memberkati negara dengan stok ikan.

Dengan pentingnya memahami dan menangani pemanasan permukaan bumi, dunia harus mengukur dan memantau level gas rumah kaca di atmosfer. Menurut IPCC, emisi gas rumah kaca harus dibatasi agar lingkungan hidup terjaga. Setiap industri seharusnya mengukur emisi gas rumah kaca dan mencari metode-metode untuk mengurangi emisi gas rumah kaca tersebut. Indonesia sudah mulai memperhatikan dan mulai menangani emisi gas rumah kaca. Peraturan presiden nomor 61 tahun 2011 memberi komitmen mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 26% pada tahun 2020 dibandingkan tanpa tindakan. Ada juga Undang-Undang nomor 16 tahun 2016 yang menjanjikan bahwa Indonesia akan mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030 dibanding tanpa tindakan. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020-2024 menjelaskan bahwa Indonesia harus mengurangi emisi gas rumah kaca sekaligus memastikan kemakmuran rakyat. Untuk sementara, Indonesia mengidentifikasi beberapa bidang dimana ada potensi paling besar untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, yaitu: bidang kehutanan, pertanian, energi, transportasi, dan sampah. Industri konstruksi belum menjadi fokus upaya mengurangi emisi gas rumah kaca.

Menurut data dari IEA, 23.2% dari emisi gas rumah kaca disebabkan oleh industri konstruksi. Di industri konstruksi, sumber-sumber emisi gas rumah kaca utama adalah keperluan energi untuk pembuatan bahan baku, yaitu baja dan semen. Ada juga emisi dari reaksi kimia dimana kapur yang dipanaskan menjadi semen dan karbon dioksida. Dengan pentingnya industri konstruksi untuk kemakmuran manusia, industri tidak dapat dihentikan. Maka, industri konstruksi harus mengurangi emisi gas rumah kaca dengan mengidentifikasi sumber-sumber emisi gas rumah kaca dan mencari mitigasi emisi-emisi tersebut.

Di Indonesia, emisi gas rumah kaca belum banyak diperhatikan di bidang konstruksi. Sebagai contoh, aturan-aturan pemerintah belum memperhatikan emisi gas rumah kaca. Undang-Undang nomor 32 tahun 2009 tentang lingkungan hidup menjelaskan bahwa suatu proyek harus meminimalkan dampak buruk terhadap lingkungan hidup. Namun, AMDAL lebih berfokus terhadap pencemaran lingkungan hidup lokal, dan tidak memperhatikan pencemaran lingkungan gas rumah kaca. AMDAL dan Undang-Undang lebih memperhatikan pencemaran racun yang membuat masyarakat sakit atau pencemaran yang berdampak parah terhadap lingkungan hidup. Walaupun undang-undang sekarang belum perhatikan emisi gas rumah kaca di bidang konstruksi, sudah ada Rencana Peraturan Presiden tentang Instrumen Pengendalian Gas Rumah Kaca Nasional Menuju Pembangunan Rendah Karbon yang dibuat agar dapat mengukur emisi gas rumah kaca dengan lebih tepat. Rencana PerPres tersebut mendorong pihak pemilik maupun kontraktor dari suatu proyek untuk mengukur emisi gas rumah kaca dari proyek-proyeknya.

Penelitian ini akan mengukur emisi gas rumah kaca pada tahap pengadaan material dari tiga bangunan gudang di Tangerang dengan metode *process-based* yang dapat diterapkan pada proyek-proyek lain. Bagian metodologi akan menjelaskan cara penelitian dijalankan. Bagian hasil dan pembahasan menjelaskan material yang menyebabkan emisi gas rumah kaca terbesar. Bagian kesimpulan akan merangkumkan hasil penelitian dan memberi masukan untuk penelitian-penelitian lanjutan.

Pertanyaan penelitian adalah sebagai berikut:

- (a). Apa saja material yang dipakai untuk konstruksi gudang-gudang yang diteliti, dan berapa banyak kuantitas dari material tersebut?
- (b). Berapa banyak emisi gas rumah kaca dari material konstruksi gudang, dan material-material apa yang paling berperan dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca?

## METODOLOGI

Penelitian ini memakai metodologi berbasis proses, dimana material-material yang dipakai untuk pembangunan akan masing-masing dipelajari untuk perhitungan emisi total untuk pengadaan material (*cradle-to-gate*). Rumus yang akan dipakai untuk pengukuran emisi gas rumah kaca adalah:

$$\text{Emisi} = \sum \text{Kuantitas pemakaian material} \times \text{faktor emisi} \quad (1)$$

Untuk setiap jenis pekerjaan, emisi GRK dihitung dari perkalian antara kuantitas material yang dipakai dan faktor emisi dari satuan material tersebut.

**Tabel 1.** Densitas Material

Material	Densitas
Beton	2400 kg/m <sup>3</sup>
Pasir (bulk)	1600 kg/m <sup>3</sup>
Kerikil (bulk)	1600 kg/m <sup>3</sup>
Tanah (bulk)	1600 kg/m <sup>3</sup>
Plastik polypropylene	1800 kg/m <sup>3</sup>
Aluminium	2700 kg/m <sup>3</sup>
Fiberglass	1800 kg/m <sup>3</sup>
Bata	2000 kg/m <sup>3</sup>
Mortar	2150 kg/m <sup>3</sup>

(Sumber: Somayaji)

Data faktor emisi diperoleh dari *database ICE (Inventory of Carbon and Energy)*, yang menjabarkan faktor-faktor emisi dari berbagai jenis material yang sering dipakai di bidang konstruksi. Mengikuti tunjukkan *IEA Annex 57 overview* maupun raperpres tentang instrumen pengendalian GRK nasional menuju pembangunan rendah karbon, angka faktor emisi yang paling baik didapatkan dengan pengukuran langsung. Bila data tersebut tidak ada, pilihan kedua memakai *database* faktor emisi gas rumah kaca nasional. Bila *database* nasional tidak ada, maka boleh memakai *database* internasional. Dengan kekurangannya data faktor emisi dari perusahaan di hulu dan tidak adanya data faktor emisi nasional, maka *database* internasional dipakai. Nilai-nilai faktor emisi yang tertulis di Tabel 2 menggunakan *database* internasional yang disiapkan oleh peneliti-peneliti Hammond dan Jones.

**Tabel 2. Faktor Emisi Material**

Material	Faktor Emisi (kg CO <sub>2</sub> eq/kg)
Aluminium	9.18
Baja	1.95
Baja berlapis zinalume	2.12
Bata	0.24
Beton (bervariasi)	0.13 – 0.148
Cat	3.76
Fiberglass	1.54
Kerikil	0.01
Mortar	0.221
Pasir	0.0051
Plastik polypropylene	3.43
PVC	24.4
Semen	0.95
Tanah	0.0024

(Sumber: *Inventory of Carbon and Energy, Hammond dan Jones*)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

*Apa saja material yang dipakai untuk konstruksi suatu kawasan gudang, dan berapa banyak kuantitas dari material tersebut?*

Untuk setiap pekerjaan, dianalisa volume material untuk pekerjaan-pekerjaan tersebut. Emisi gas rumah kaca adalah volume material dikalikan dengan faktor emisi untuk material tersebut. Data kuantitas pemakaian material diperoleh dari *Bill of Quantities* yang disiapkan oleh pihak kontraktor. Ada beberapa pekerjaan, terutama talang fiberglass dan pengecatan dinding, yang dikerjakan oleh owner. Pekerjaan yang dilakukan oleh owner sehingga tidak termasuk dalam *Bill of Quantities*, jadi data kuantitas material diperoleh dari dimensi-dimensi pekerjaan yang tergambar di gambar as-built.

*Bill of Quantities* Data kuantitas pemakaian material diperoleh dari data primer dari *Bill of Quantities* yang disiapkan oleh kontraktor utama. Dimana ada kekurangan data tepat, akan dipakai perkiraan material berdasarkan gambar *as-built* dan estimasi kuantitas. Untuk volume material yang diberi dalam satuan meter kubik atau meter persegi, harus diubah menjadi satuan kilogram. Dengan kekurangan data lapangan tentang densitas material, maka nilai-nilai standar untuk densitas material akan dipakai. Tabel 1 memberi nilai-nilai densitas material yang dipakai untuk penelitian ini. memakai satuan-satuan kilogram, meter kubik, meter dan unit barang. Penelitian ini memerlukan satuan kilogram, sehingga data dari *Bill of Quantities* harus diolah menjadi satuan kilogram. Untuk pengolahan data dari satuan meter kubik ke satuan kilogram, memakai data densitas material generik. Untuk pengolahan data dari satuan unit ke satuan kilogram, memakai data sheet dari perusahaan fabrikasi material.

Data dari *Bill of Quantities* dapat diolah untuk menjabarkan jenis material yang dipakai secara lebih berdetil, maupun menstandarkan satuan kuantitas-kuantitas material bahan konstruksi memakai satuan kilogram. Data pemakaian material dari setiap jenis pekerjaan dapat digabungkan

berdasarkan jenis material. Pemakaian setiap jenis material dapat dijumlahkan untuk menghasilkan rangkuman volume material konstruksi.

**Tabel 3.** Volume Material-material

Material	Volume rata-rata (kg/m <sup>2</sup> )	Persentase berdasar massa
Tanah	1440.69	48.14%
Beton k300 ppc 15%	566.11	18.92%
Kerikil	554.65	18.53%
Pasir	93.76	3.13%
Beton k350 ppc 15%	92.45	3.09%
Mortar (1:3)	65.80	2.20%
Bata	57.04	1.91%
Baja	52.05	1.74%
Cat zincromate	28.92	0.97%
Beton k350 opc	26.89	0.90%
Baja zinalume	6.05	0.20%
Semen	5.20	0.17%
Plastik pp	1.10	0.04%
Aluminium	0.98	0.03%

(Sumber: Data dari proyek)

Dari material-material konstruksi yang diukur, material dengan volume paling besar adalah tanah, dengan volume sebesar 1440.69 kg/m<sup>2</sup>, yaitu 48.14% dari massa bangunan. Material-material lain dengan volume besar adalah berbagai jenis beton (dengan volume 685.45 kg/m<sup>2</sup>, 22.90% dari massa bangunan) maupun kerikil (dengan volume 554.65 kg/m<sup>2</sup>, 18.53% dari massa bangunan). Juga perlu diperhatikan material-material pasir (3.13%), mortar (2.20%), bata (1.91%), baja (1.74%), dan cat zincromate (0.97%).

*Berapa banyak emisi gas rumah kaca dari material konstruksi kawasan gudang, dan material-material apa yang paling berperan dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca?*

Mengingat rumus dasar:

$$\text{Emisi} = \sum \text{Kuantitas pemakaian material} \times \text{faktor emisi} \quad (2)$$

Untuk setiap material yang dipakai di bangunan, dapat dijumlahkan emisi gas rumah kaca dari material tersebut. Penelitian ini menentukan material-material yang paling banyak menyebabkan emisi rumah kaca. Di tabel berikut, material-material yang emisinya rendah (di bawah 1% untuk setiap bangunan) dikelompokkan sebagai material lain. Dari material yang termasuk penelitian, material dengan emisi di bawah 1% adalah pasir, tanah, fiberglass, dan cat dinding sehingga dapat dikelompokkan sebagai material lain.

**Tabel 4.** Emisi Gas Rumah kaca berdasarkan material

Material	Emisi (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	Persentase
Cat baja	108.76	29.31%
Baja struktural	101.47	27.34%
Beton	96.04	25.88%
Mortar	14.54	3.92%
Bata	13.69	3.69%
Baja zinalume	12.83	3.46%
Aluminium	9.03	2.43%
Material lain	5.40	1.46%
Plastik cor	3.76	1.01%
Kerikil	2.88	0.78%
PVC	2.68	0.72%
Total	371.09	100%

(Sumber: Data dari proyek)

Hasil penelitian ini adalah bahwa untuk pembangunan gudang-gudang yang diteliti, emisi gas rumah kaca dari material bangunan ekuivalen dengan 371.01 kilogram karbon dioksida per meter persegi bangunan. Material-material dengan emisi gas rumah kaca terbesar adalah cat baja (29.31%), baja struktural (27.34%), dan beton (25.88%). Tiga material ini mengakibatkan 82.53% dari emisi bangunan, sehingga upaya mengurangi emisi gas rumah kaca seharusnya berfokus kepada tiga material ini.

Material-material lain yang juga dapat diperhatikan adalah aluminium dan baja zinalume untuk atap, dan bata dan mortar yang dipakai untuk dinding. Walaupun material-material tanah, kerikil, dan pasir paling banyak dipakai dari segi massa, faktor emisinya sangat kecil sehingga emisi gas rumah kaca dari material tersebut relatif rendah.

## KESIMPULAN

*Apa saja material yang dipakai untuk konstruksi suatu kawasan gudang, dan berapa banyak kuantitas dari material tersebut?*

1. Dari tiga bangunan gudang yang diteliti, material-material dengan volume terbesar berdasarkan massa adalah tanah (1440 kg/m<sup>2</sup>, 48% dari total), beton (763 kg/m<sup>2</sup>, 23% dari total), dan kerikil (554 kg/m<sup>2</sup>, 19% dari total). Tiga material tersebut mencakupi 90% dari volume bangunan berdasarkan massa. Material-material lain dengan tingkat pemakaian relatif tinggi berdasarkan massa termasuk pasir, mortar, bata, baja, dan cat baja.

*Berapa banyak emisi gas rumah kaca dari material konstruksi kawasan gudang, dan material-material apa yang paling berperan dalam menghasilkan emisi gas rumah kaca?*

2. Emisi gas rumah kaca dari material bangunan ekuivalen dengan 371.01 kilogram karbon dioksida per meter persegi bangunan. Material-material dengan emisi gas rumah kaca terbesar adalah cat baja (29.31%), baja struktural (27.34%), dan beton (25.88%). Material-material tersebut mencakupi 82.53% dari emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh pengadaan material konstruksi. Material lain yang juga perlu diperhatikan adalah material atap baja zinalume atau aluminium (5.89%) mortar (3.92%), bata (3.69%),

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, A., Sharareh, T., Homayoun, K. A model to control environmental performance of project execution process based on greenhouse gas emissions using earned value management. *International J. of Proj. Mgmt.* 36 (2018) hal. 397-413
- Fregonara, E., Giordano, R., Rolando, D., Tulliana, J. M., (2016) Integrating environmental and economic sustainability in new building construction and retrofits. *J. Urban Tech.* Vol. 23 No. 4, hal. 3-28
- Hammond, G. P., and Jones, C. I., (2008) Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, 161 (2). hal. 87-98. ISSN 1751-4223
- ICE database Inventory of Carbon and Energy <http://www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint-database.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change, (2018). *Climate Change 2018: Global Warming of 1.5°C*. Cambridge University Press.
- International Energy Agency, *Evaluation of Embodied Energy and Co2eq for Building Construction (Annex 57) Subtask 2: A Literature Review*. Tokyo: Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2016.
- ISO (2010). *ISO 29131-1 Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works*. Geneva: ISO.
- Peraturan Presiden nomor 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. Jakarta: Pemerintah Indonesia, 2011
- PMI, (2013) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK GUIDE)*. Fifth edition. Project Management Institute.
- Somayaji, Shan. *Civil Engineering Materials*. 2nd ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2001
- Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Pemerintah Indonesia, 2009.