

MODEL PERHITUNGAN KANDUNGAN EMISI CO₂ PADA BANGUNAN GEDUNG CO₂ Emission Greenhouse Gas Effect and Global Warming Building Energy

¹Arief Sabaruddin, ²Tri Harso Karyono, ³Rumiati Tobing

¹Pusat Litbang Permukiman

Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan-Kabupaten Bandung 40393

Email : ars@puskim.pu.go.id

²Pengajar Fakultas Arsitektur Universitas Tarumanegara dan Peneliti BPPT

Email : t_karyono@yahoo.com

³Pengajar Fakultas Teknik Arsitektur Universitas Parahyangan

Jl. Ciumbuleuit No. 94 Bandung

Email: limtob@indo.net.id

Diterima : 28 September 2011; Disetujui : 27 Oktober 2011

Abstrak

Meningkatnya kandungan CO₂ di atmosfer telah menyebabkan efek gas rumah kaca, yang mengakibatkan naiknya temperatur bumi, sehingga terjadi pencairan cadangan es di kutub utara dan selatan serta cadangan es di dataran tinggi. Peningkatan gas CO₂ disebabkan oleh proses pembakaran yang dibutuhkan dalam menjalankan sarana dan prasarana penunjang kehidupan manusia. Bangunan gedung berpeluang mengeluarkan 30% dari total emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kehidupan manusia. Terdapat 2 cara emisi CO₂ yang berasal dari bangunan, yaitu emisi CO₂ yang dihasilkan ketika proses pembangunan (*embodied CO₂ emission*) serta emisi CO₂ yang dihasilkan pada pemanfaatan bangunan. Konsep *green building* adalah salah satu pendekatan untuk menjamin terjaminnya kualitas lingkungan agar tetap langgeng. Salah satu indikatornya adalah bangunan tersebut harus mengkonsumsi energi secara efisien sampai dengan *zero energy*. Namun nyatanya pemanasan global belum dapat diukur oleh besar konsumsi energi, akan tetapi dari besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan oleh bangunan. Hal tersebut disebabkan, besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan oleh setiap pembangkit listrik memiliki nilai yang berbeda-beda. Pembangkit listrik tenaga uap dengan batu bara menghasilkan emisi CO₂ 940 gr CO₂ setiap 1 kWh, sedangkan energi listrik tenaga diesel menghasilkan 581 gr CO₂ untuk 1 kWh. Sebagai upaya mitigasi terhadap pemanasan global, sudah saat-nya, besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan oleh bangunan tersebut dikendalikan. Proses pengendalian dapat dilakukan pada tahap perencanaan maupun tahap pelaksanaan, sebagai upaya untuk menurunkan emisi CO₂ yang dikandung oleh bangunan. Untuk menunjang proses perencanaan bangunan gedung rendah emisi CO₂ tersebut diperlukan tools, yang berfungsi untuk mengukur/menghitung besarnya emisi CO₂ pada bangunan. Tools tersebut akan memberi informasi besarnya harga satuan emisi CO₂ pada bangunan gedung per meter persegi (*HSEBG*).

Kata Kunci: Emisi CO₂, efek gas rumah kaca, pemanasan global, bangunan gedung

Abstract

The increased content of CO₂ in the atmosphere has caused the greenhouse gas effect, which causes the earth's rising temperature, resulting in melting ice reserves in the North and South poles as well as ice reserves on plateaus. The increase of CO₂ gas is caused by combustion processes required in running the facilities and infrastructure supporting human life and livelihood. Buildings contribute 30% of total CO₂ emissions produced by humans. There are two types of CO₂ emissions produced by buildings: the CO₂ emissions produced in the development process (*embodied CO₂ emission*) and the resulting CO₂ emissions when the building is in use. The concept of *green building* is an approach to ensure the preservation of environmental quality in order to preserve the environment. One indicator is the building must decrease the consumption of energy efficiently up to *zero energy*. However, global warming cannot be measured from the large energy consumption, but the size of the CO₂ emissions generated by buildings. This is due to the different amount of CO₂ emissions produced by each power plant. Steam power plant with coal produces CO₂ emissions of 940 grams of CO₂ for every 1 kWh, while the diesel-generated electrical energy produces 581 grams of CO₂ for 1 kWh. In an effort to mitigate global warming, it is required that the amount of CO₂ emissions generated by buildings be controlled. Controlling process can be conducted during the planning and implementation stages, in an effort to reduce embodied CO₂ emissions. To support the planning process of building low embodied CO₂ emissions, certain tools are needed to measure / calculate the amount of CO₂ emissions in buildings. These tools will provide information on the rate of CO₂ emissions in buildings per square meter.

Keywords: CO₂ emissions, greenhouse gas effect, global warming, building

PENDAHULUAN

Pemanasan global yang terjadi saat ini tidak secara langsung disebabkan oleh tingginya konsumsi energi, akan tetapi lebih disebabkan oleh jenis dan sumber energi yang digunakan. Setiap jenis sumber energi menghasilkan nilai emisi CO₂ yang berbeda. Energi listrik yang bersumber dari bahan bakar minyak menghasilkan emisi CO₂ sebesar 540 gr CO₂ per setiap kWh [Fatiah, 2008], sedangkan energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik uap yang digerakkan dengan bahan bakar batu bara menghasilkan emisi CO₂ sebesar 940 gr CO₂ per kWh [Fatiah, 2008]. Sementara pembangkit listrik tenaga air maupun tenaga nuklir tidak menghasilkan emisi CO₂ [Calkins, 2009].

Kandungan gas CO₂ di atmosfer terus bertambah dengan cepat, sehingga mengakibatkan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer melampaui ambang batas (10% - 20%) [UNEP, 2008]. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya efek gas rumah kaca, yang berfungsi menahan dan mengakibatkan panas matahari terperangkap dan meradiasi permukaan bumi. Berdasarkan catatan UNEP, dalam seratus tahun terakhir telah terjadi peningkatan panas mencapai 2°C [UNEP, 2008]. Bila tidak ditangani segera, maka peningkatan panas pada tahun-tahun mendatang akan meningkat dengan pesat. Akibatnya terjadi perubahan iklim yang mengganggu kesehatan dan kesejahteraan manusia.

Perubahan iklim berpeluang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan di bumi. Antara lain naiknya permukaan air laut, mencairnya cadangan es di kutub utara dan selatan serta puncak pegunungan, terjadinya badai ekstrim dengan tingkat bahaya yang lebih besar, musnahnya berbagai *biodiversity*, terganggunya stok pangan akibat gagal panen dan lain sebagainya. Ujung-ujungnya berimbas pada terganggunya kesejahteraan manusia.

Penyelenggaraan bangunan gedung sebagaimana diamanatkan pada Undang-undang Bangunan Gedung Nomor 28 Tahun 2002, harus dilaksanakan dengan mempertimbangkan kesinambungan lingkungan. Keberadaan bangunan gedung berpeluang menambah beban terhadap lingkungan, akibat penyediaan sejumlah sumber daya alam untuk memenuhi kebutuhan bangunan.

Konsumsi sumber daya alam sudah dimulai sejak bangunan tersebut dibangun, sampai dengan dihapuskan. Pada tahap pembangunan diperlukan sejumlah bahan bangunan, yang diperoleh dari alam dan diolah lebih lanjut menjadi industri bahan bangunan. Proses industri tersebut membutuhkan sejumlah energi.

Besarnya emisi CO₂ pada bangunan gedung melalui sebuah proses yang panjang, mulai sejak tahap perencanaan bangunan sampai dengan tahap pemusnahan bangunan itu.

Pada tahap perencanaan bangunan emisi CO₂ yang terjadi merupakan emisi tidak langsung. Emisi berasal dari sejumlah energi yang digunakan pada proses kegiatan perencanaan, dalam bentuk kegiatan administrasi atau perkantoran, seperti contohnya penggunaan kertas, komputer, penerangan juga pengkondisian udara (AC).

Pada tahap konstruksi, emisi CO₂ ditimbulkan secara langsung maupun tidak langsung. Kegiatan yang mengakibatkan emisi langsung berasal dari penggunaan peralatan yang digerakkan oleh bahan bakar fosil, serta penggunaan bahan bangunan yang di dalamnya telah mengandung emisi tak langsung ketika tahap produksi bahan bangunan tersebut.

Pada tahap pemanfaatan dan pemeliharaan bangunan. Pada tahap pemanfaatan bangunan, energi digunakan untuk menunjang kegiatan manusia di dalam bangunan. Selain itu proses pemeliharaan bangunan dapat menimbulkan emisi CO₂ melalui penambahan dan penggantian bahan bangunan yang sudah melampaui *durability* bahan bangunan tersebut.

Bila usia bangunan secara keseluruhan sudah melampaui usia bangunan yang direncanakan, maka bangunan tersebut sudah harus mengalami pembongkaran. Pada tahap pembongkaran beberapa bahan bangunan yang tidak dapat digunakan kembali atau diolah kembali akan melakukan pelepasan *carbon*, yang dapat mengemisi atmosfer [Fay, et al, 2000].

Usia bangunan berdasarkan SNI 03-1726-2002, direncanakan selama 50 tahun. Sehingga bila usia bangunan lebih dari 50 tahun maka bangunan tersebut harus mendapatkan perlakuan khusus, seperti halnya menjadikan bangunan *heritage*, yang akan membutuhkan biaya pemeliharaan cukup tinggi.

Berdasarkan tahapan-tahapan tersebut, diharapkan para pelaku penyelenggara bangunan gedung dapat melakukan mitigasi terhadap perubahan iklim melalui kegiatan rancang bangun bangunan gedung, sesuai dengan amanat Undang-undang Bangunan Gedung 28/2002.

Masalah

Telah terjadi peningkatan konsentrasi emisi CO₂ di atmosfer, yang disebabkan oleh kegiatan rancang-bangunan bangunan gedung dan perumahan. Peluang terjadinya emisi CO₂ tersebut melalui proses industri bahan bangunan, pembangunan

dan kegiatan manusia di dalam bangunan gedung tersebut.

Tujuan

Untuk menyusun formula yang digunakan untuk menghitung kandungan emisi CO₂ pada bangunan gedung.

Manfaat

Upaya melakukan mitigasi terhadap perubahan iklim melalui penyelenggaraan bangunan gedung yang dapat dilakukan oleh pemerintah, perencana, maupun pelaksana pembangunan (kontraktor), serta pemilik bangunan.

METODOLOGI

Melakukan identifikasi faktor-faktor desain bangunan gedung yang berpengaruh terhadap besar-kecilnya emisi CO₂, selanjutnya faktor-faktor tersebut diuji melalui evaluasi *bill of quantity* untuk mendapatkan jenis pekerjaan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap pembentukan emisi CO₂.

MEKANISME TERBENTUKNYA EMISI CO₂

Embodied Energy dan Embodied CO₂

Emisi CO₂ yang dihasilkan oleh bangunan menurut Calkins bersumber dari penggunaan energi serta proses kimia yang terjadi pada saat proses produksi bahan bangunan. Konsumsi energi yang dimaksudkan terdiri dari penggunaan energi langsung seperti proses pembakaran serta penggunaan energi tidak langsung seperti transportasi dan penggunaan energi yang digunakan oleh kegiatan perkantoran dari industri terkait.

Sejumlah energi yang digunakan ketika proses produksi bahan bangunan dinyatakan sebagai *embodied energy* (EE). Contoh EE pada produksi semen adalah sejumlah energi yang digunakan ketika proses pembakaran clinker, yaitu proses pembakaran batu kapur/kalsium karbonat (CaCO₃), pada proses pembakaran tersebut menghasilkan emisi CO₂ (EC_E) yang dihasilkan dari penggunaan energi. Kalsium karbonat ketika dipanaskan akan terjadi reaksi kimia yang akan menguraikan senyawa CaO (kapur) dan CO₂ yang bersifat mengemisi atmosfer, proses emisi CO₂ tersebut dinyatakan sebagai *embodied CO₂* (EC).

Perbedaan antara *embodied energy* (EE) dan *embodied CO₂* (EC) dapat dijelaskan melalui persamaan (1) dan (2), yaitu, persamaan (1) EE tidak memiliki perbedaan pengaruh pada jenis sumber energi, sedangkan persamaan (2) EC sangat dipengaruhi oleh jenis sumber energi.

Embodied Energy (EE)

Persamaan (1a) menjelaskan besarnya *embodied energy*, yaitu berdasarkan besarnya energi yang digunakan dalam proses produksi sebuah bahan bangunan. Indikator yang digunakan dalam EE adalah besar daya dan waktu produksi per satuan bahan [Calkins, 2008].

$$EE = (P \times H) \dots\dots\dots (1a)$$

Keterangan :

- EE : *Embodied Energy*
- P : *Daya listrik (watt, kilowatt)*
- H : *Waktu proses produksi bahan bangunan (jam)*
- (P x H) : *Energi (kWh)*

Setiap satuan energi akan menghasilkan emisi CO₂, yang tergantung dari jenis dari pembangkit tenaga listrik yang digunakan. Pembangkit listrik tenaga air per setiap kWh menghasilkan *zero CO₂ emissions*. Pembangkit tenaga listrik disel (PLTD) menghasilkan emisi CO₂ (e_E) sebesar 570 gr CO₂ per kWh, sedangkan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan bahan bakar batu bara menghasilkan emisi CO₂ (e_E) sebesar 940 gr CO₂ per kWh (KLH, 2009). Sehingga melalui persamaan (1a) dan (1b) tersebut dapat dijelaskan besar-kecilnya EE tidak memiliki relevansi langsung dengan besar-kecilnya emisi CO₂ dari setiap jenis pembangkit tenaga listrik. Besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan oleh setiap pembangkit tenaga listrik tergantung dari besarnya CO₂ yang dikeluarkan oleh setiap bahan bakar yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik.

$$EC_E = [EE \times e_E] \dots\dots\dots (1b)$$

Keterangan :

- EC_E : *Embodied Emisi CO₂ per Konsumsi Energi*
- P : *Daya listrik (watt, kilowatt)*
- H : *Waktu proses produksi bahan bangunan (jam)*
- (P x H) : *Energi (kWh)*
- e_E : *Besarnya emisi CO₂ yang dilepaskan dari setiap kWh (kg CO₂)*

Naiknya harga minyak mentah dunia telah mendorong penggunaan batu bara sebagai alternatif yang digunakan pada pembangkit tenaga listrik, karena harga batu bara lebih murah serta memiliki cadangan lebih besar dan harganya lebih murah.

Berdasarkan aspek biaya produksi, listrik dengan bahan bakar batu bara memang lebih murah dari bahan bakar diesel/solar, namun biaya dampak lingkungannya akan lebih mahal. Sebab selain berdampak kerusakan perubahan fisik lingkungan tambang batu bara, tingkat emisi CO₂ nya lebih besar hampir 2 kali.

Tabel 1 Kadar Unsur Kimia Jenis Bahan Bakar

	Bahan Bakar Minyak	Batu Bara	Gas Alam
Karbon	84	41,11	74
Hidrogen	12	2,76	25
Sulfur	3	0,41	-
Oksigen	1	9,89	Sedikit
Nitrogen	Sedikit	1,22	0,75
Abu	Sedikit	38,63	-
Air	Sedikit	5,9	-

Sumber : UNEP [2010], Bahan bakar dan pembakaran

Persamaan (1b) menunjukkan terbentuknya embodied CO₂ emission pada setiap konsumsi energi per kWh. Pada persamaan tersebut ditunjukkan, bahwa proses industri bahan bangunan yang membutuhkan sejumlah energi, menjadikan setiap bahan bangunan akan memiliki nilai EE, serta berpeluang memiliki EC. Tergantung dari bagaimana energi tersebut dihasilkan.

Emisi CO₂ pada Proses Kimia Produksi Bahan Bangunan (e_{nE})

Menurut Calkin [2009], beberapa jenis bahan bangunan yang diproduksi dari raw material akan menghasilkan emisi CO₂ yang disebabkan oleh proses kimia bahan ketika diproduksi. Adapun jenis bahan bangunan yang mengeluarkan emisi CO₂ dari proses kimia tersebut adalah :

1. Bahan bakar fosil bukan untuk energi, banyak digunakan sebagai bahan campuran seperti bahan cat
2. Proses produksi semen, semen merupakan bahan bangunan yang diproduksi dari bahan dasar kapur (CaCO), ketika proses pembakaran bahan kapur akan melepaskan karbon yang mengalami oksidasi sehingga menghasilkan CO₂.
3. Proses produksi baja, emisi CO₂ langsung yang dihasilkan dari bahan baja adalah berasal dari bahan anorganik karbon yang terdapat pada biji besi. Selain gas CO₂ pada produksi besi baja juga menghasilkan gas methana (CH₄), yang memiliki daya rusak terhadap atmosfer lebih besar dari CO₂.
4. Proses produksi kapur dan proses produksi batu kapur
5. Proses produksi alumunium, gas CO₂ yang dihasilkan ketika alumina diubah menjadi alumunium.
6. Produksi cat dan plastik (Titanium Dioxide) gas CO₂ yang dihasilkan ketika proses zat chlorida yang menggunakan kokas minyak bumi dan chlorine sebagai bahan baku.
7. (Baja dan besi campur), gas CO₂ yang dihasilkan dari produksi pada beberapa jenis baja dan stainless steel.
8. Produksi Zinc, CO₂ terbentuk pada tahap pertama maupun tahap berikutnya dalam

produksi zink melalui proses produksi elektro termal.

9. Produksi Petrochemical, CO₂ dihasilkan dari produksi polimer

Berdasarkan persamaan (2a) dan (2b) setiap bahan bangunan akan menghasilkan EC, yang berasal dari emisi CO₂ akibat penggunaan energi listrik (EC_E) maupun emisi CO₂ yang dihasilkan dari proses kimia bahan bangunan tersebut (e_{nE}). Memerhatikan pada persamaan tersebut, maka setiap jenis bahan bangunan akan nilai embodied CO₂ emission (EC) meskipun energi yang digunakan pada produksi bahan bangunan tersebut menggunakan energi yang terbarukan.

$$EC = EC_E + e_{nE} \dots\dots\dots (2a)$$

$$EC = [EE \times e_E] + e_{nE} \dots\dots\dots (2b)$$

Keterangan :

EC : Embodied CO₂

EE : Embodied Energy

e_E : Besarnya emisi CO₂ yang dilepaskan dari setiap kWh (kg CO₂)

e_{nE} : Emisi CO₂ hasil reaksi kimia bahan baku

Mengacu pada persamaan (2) bila dibandingkan dengan persamaan (1) maka besarnya EC tidak selalu memiliki korelasi langsung dengan besarnya EE. Bila mengacu pada penyebab dari kerusakan lingkungan secara langsung disebabkan oleh konsentrasi gas CO₂ di atmosfer yang melampaui batas, sehingga mengakibatkan terjadi efek gas rumah kaca yang mengakibatkan suhu permukaan bumi meningkat.

Nilai embodied CO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran raw material dan proses kimia yang terjadi pada raw material tersebut menghasilkan nilai total kandungan emisi CO₂ yang dinyatakan sebagai Nilai Dasar Emisi CO₂ Bahan Bangunan (H_{de}).

MENGUKUR EMISI CO₂

Emisi CO₂ langsung (Direct CO₂ Emissions) adalah pencemaran udara yang disebabkan oleh konsumsi sejumlah bahan bangunan, dimana dalam proses eksploitasi dan pengolahan bahan bangunan tersebut telah menghasilkan sejumlah emisi CO₂. Pada proses eksploitasi sumber daya alam yang digunakan sebagai bahan baku bagi sejumlah bahan bangunan, menghasilkan emisi CO₂ yang disebabkan oleh penggunaan berbagai alat bantu sampai dengan pengiriman bahan baku tersebut sampai tujuan tempat pengolahan.

Beberapa jenis bahan bangunan yang digunakan di dalam pembangunan bangunan gedung, meliputi 3 kelompok besar bahan berikut ini. Bahan

bangunan primer (pasir, air, batu) yaitu jenis bahan bangunan yang langsung digunakan dari bahan alam. Jenis bahan bangunan ini dikelompokkan lagi dalam 2 kategori, yaitu bahan galian (C, B, dan A) serta bahan tegakan (kayu dan bambu). Bahan bangunan sekunder (batako cetak, batako rakyat, beton, baja tulangan, baja profil, semen, kaca, paku, mur-baut, plat baja, kusen pintu-jendela, lantai keramik, lantai ubin PC, dsb) yaitu bahan bangunan yang berasal dari bahan baku yang berasal dari alam dan telah melalui proses industri, dimana pada proses industri tersebut terjadi proses oksidasi yang menghasilkan gas CO₂. Bahan bangunan tersier (teralis, tangga besi, dsb) yaitu bahan bangunan yang diproduksi dari bahan bangunan sekunder.

Emisi yang dikandung oleh berbagai jenis bahan bangunan dapat dikelompokkan seperti pada tabel 2, dan dinyatakan sebagai Nilai Dasar Emisi CO₂ Bahan Bangunan (H_{de}). Nilai dasar emisi CO₂ bahan bangunan dimungkinkan terdapat perbedaan yang disebabkan oleh jenis sumber energi yang digunakan ketika bahan bangunan tersebut diproduksi, seperti telah diuraikan di atas.

Beberapa jenis bahan bangunan yang memiliki nilai kandungan emisi CO₂ cukup tinggi dan tingkat penggunaannya cukup besar dalam bangunan adalah, semen dengan nilai emisi CO₂ sebesar 0,97 kg CO₂ per kg semen [Calkins, 2008], baja tulangan adalah 1 s.d. 1,7 kg CO₂ per kg baja [Gielen, 1997]. Kedua jenis bahan bangunan tersebut pada bangunan memiliki volume yang cukup besar, baik pada pekerjaan beton bertulang, maupun pekerjaan dinding, lantai, serta komponen bahan bangunan dinding seperti batako cetak, seluruh jenis bahan bangunan dan pekerjaan tersebut membutuhkan semen. Nilai emisi bahan bangunan sesuai lampiran 1.

Produktifitas kinerja juga menentukan nilai emisi CO₂, hal tersebut ditunjukkan dalam indeks analisa biaya konstruksi dalam sebuah perencanaan biaya. Sama halnya dengan emisi CO₂, besarnya emisi CO₂ setiap item pekerjaan memiliki nilai yang berbeda. Setiap bahan bangunan yang digunakan akan mengalami pengurangan volume, ketika diolah dalam setiap tahap pekerjaan, yang diakibatkan oleh penyusutan maupun akibat terbuang. Besarnya nilai penyusutan dalam menghitung nilai emisi CO₂ tersebut digunakan acuan SNI analisa biaya konstruksi.

Satuan yang digunakan dalam pekerjaan dinyatakan dalam m¹ untuk satuan panjang, m² untuk satuan luas, dan m³ untuk satuan volume. Formula yang digunakan dalam analisa nilai emisi [AEK_p] dinyatakan dengan persamaan (3) sebagai berikut :

$$AEK_p = \sum \{bb [I_{nd} \times H_{de}]\} Kg CO_2$$

per satuan pekerjaan (3)

Keterangan :

- AEK_p : Analisa emisi CO₂ konstruksi pekerjaan
- bb : Bahan bangunan
- I_{nd} : Indeks bahan bangunan
- H_{de} : Nilai dasar emisi CO₂ bahan bangunan

Indeks bahan bangunan per satuan pekerjaan mengacu pada nilai indeks dari SNI Analisa Biaya Konstruksi. Nilai indeks tersebut menunjukkan kebutuhan volume bahan bangunan yang digunakan pada setiap pekerjaan. Sebagai contoh untuk melakukan analisa emisi CO₂ satuan pekerjaan mengerjakan 1 m³ pekerjaan pondasi batu belah campuran 1 PC : 3 PP (SNI 2836 : 2008), adalah diperlukan :

1. Batu belah 1,2 m³
2. Portland Cement (PC) 202 kg
3. Pasir pasang 0,485 m³

Masing-masing bahan bangunan tersebut mengandung harga dasar emisi CO₂ (H_{de}), yakni untuk batu belah EC dihasilkan dari sejumlah energi yang digunakan pada alat berat ketika melakukan eksploitasi batu belah dari alam dan bahan bakar yang digunakan untuk transportasi pengiriman bahan batu belah ke *site*.

Tabel 2 Nilai Dasar Emisi CO₂ Bahan Bangunan (H_{de})

Primer	Sekunder	Tersier (campuran)	N
Agregat (halus s.d kasar)	Semen	Beton	Panel beton
Air	Baja tulangan	Beton bertulang	cetak
Bambu	Baja profil	Mur-baut	
Biji baja	Paku	Kabel litrik	
Kasium karbonat	Keramik	(NYM, dsb)	
Kayu log	Bata merah	Batako cetak	
Tanah lempung	Genteng	Buis beton	
Minyak bumi	Kayu lapis (glulam, LVL)	Kusen	
Batu bara	Kayu balok-papan	alumunium	
	Kloset	Pintu	
	Bak mandi	alumunium	
	Profil alumunium		
	Plat alumunium		
	Panel gypsum		
Besarnya emisi CO ₂ ditentukan oleh bahan bakar yang digunakan oleh sejumlah peralatan dalam proses eksploitasi serta bahan bakar yang digunakan untuk transportasi dari lokasi ke tempat pemrosesan.	Besarnya emisi CO ₂ ditentukan oleh proses oksidasi dari material, energi yang digunakan oleh industri untuk memproduksi bahan bangunan (langsung, tidak langsung), serta transportasi		

Catatan : Satuan bahan bangunan tersebut dinyatakan dalam kgCO₂ setiap satuan produksi bahan bangunannya; yang meliputi; per lembar, per meter persegi, per meter kubik, per meter panjang, per kilogram berat bahan, per buah

Besarnya EC (H_{de}) pada batu belah adalah 0,00095 kg CO₂ per m³ batu belah [Hwang, 2001]. Juga pada bahan PC mengandung emisi CO₂ (H_{de}) sebesar 0,97 kg CO₂ per kg semen. [Gielen, 1997] Nilai emisi CO₂ pada bahan pasir pasang adalah 0,845 kg CO₂ per m³ pasir pasang [Hwang, 2001]. Sehingga dapat dihitung besarnya emisi CO₂ pada pekerjaan tersebut ditunjukkan pada tabel 3. Hasil analisa emisi satuan pekerjaan pondasi batu belah ditemukan besarnya emisi CO₂ pekerjaan pondasi batu belah per m³ adalah 195,941 kg CO₂, yaitu :

Tabel 3 Analisa Emisi CO₂ Satuan Pekerjaan Pondasi Batu Belah per m³

Bahan	Satuan	Indeks	NDE Bahan	Sub Total E	Total E	Sat
Batu Belah 15 cm/20 cm	m ³	1,20000	0,00098	0,001		
Portland Cement (PC)	Kg	202,00000	0,97	195,940		
Pasir Pasang (PP)	m ³	0,48500	0,00045	0,000		
					195.941	kg CO ₂ /m ³

Besarnya emisi CO₂ yang ditimbulkan oleh pekerja diabaikan, karena variabelnya sangat luas dan masih sulit untuk ditentukan, sebab terdapat faktor budaya yang mempengaruhi produktifitas kerja. Kondisi ideal, produktifitas kerja dapat ditentukan nilai emisi CO₂ nya ketika para pekerja bangunan sudah dapat dilakukan sertifikasi. Sehingga setiap pekerjaan yang dikerjakan oleh berbagai karakter pekerja yang berlatar belakang berbeda akan menghasilkan nilai yang sama.

Selanjutnya berdasarkan BQ (*bill of quantity*) dari RAB (rencana anggaran biaya) diketahui informasi volume pekerjaan, yang sudah dihitung berdasarkan gambar kerja. Setiap volume pekerjaan tersebut bila dikalikan dengan hasil analisa nilai emisi CO₂ pekerjaan, maka akan didapat nilai emisi CO₂ yang dikandung oleh bangunan tersebut. Untuk mendapatkan nilai emisi CO₂ per m² bangunan maka nilai total emisi CO₂ tersebut dibagi dengan luas bangunan. Formula tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan (4) sebagai berikut :

$$RE = \sum Pek (Vol \times AEK_p) \text{ Kg CO}_2 \dots(4)$$

Keterangan :

- RE : Rencana emisi CO₂
- Pek : Jenis pekerjaan
- Vol : Volume pekerjaan
- AEK_p : Analisa emisi CO₂ konstruksi pekerjaan

Persamaan 4 disusun dalam tabel Nilai Emisi Bangunan, yang terdiri dari :

1. Jenis pekerjaan, yang disusun berdasarkan tahapan pekerjaan sesuai dengan tabel *bill of quantity* (Rencana Anggaran Biaya).
2. Volume pekerjaan setiap item pekerjaan dengan mencantumkan satuan, perlu mendapat perhatian kesesuaian satuan yang

dicantumkan dengan satuan dalam analisa nilai emisi satuan pekerjaan (**AEK**).

3. Nilai emisi CO₂ satuan pekerjaan yang dihasilkan dari adopsi nilai indeks satuan pekerjaan sesuai dengan SNI ABK, seluruh hasil analisa emisi CO₂ pekerjaan dimasukkan pada kolom ini.
4. Tahap selanjutnya adalah mengkalikan antara volume pekerjaan dengan nilai emisi CO₂ pekerjaan

Keempat tahapan tersebut disusun dalam sebuah tabel dengan bantuan software *spreadsheet* data, seperti MS Excel, untuk memudahkan perhitungan secara otomatis. Contoh (lampiran 2) bentuk penyusunan tabel tersebut seperti pada contoh tabel 4 di bawah ini :

Tabel 4 Contoh Tabel Perhitungan Nilai Emisi CO₂ Bangunan Gedung (RE)

No	Item Pekerjaan	Volume	Sat	H _{de}	NE
	Jenis pekerjaan	Volume pekerjaan	M'	Hasil dari analisa	Total hasil perkalian antara volume dan H _{de}
	disusun berdasarkan tahapan pekerjaan	dihitung berdasarkan gambar	M ² M ³	AEK	
Total Emisi CO ₂ Bangunan					HSE

Selanjutnya untuk menentukan nilai satuan emisi CO₂ pada bangunan gedung per meter persegi adalah menggunakan persamaan (5) :

$$HSE = RE : L_b \text{ Kg CO}_2 \text{ per m}^2 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- HSE : Nilai satuan emisi CO₂ bangunan gedung per m² luas bangunan
- RE : Rencana emisi CO₂
- L_b : Luas total bangunan

Dengan formula tersebut, nilai emisi CO₂ sudah dapat ditentukan. Tentunya melalui penelitian ini, ambang batas emisi CO₂ pada setiap bangunan dapat dikembangkan lebih lanjut, hasilnya dapat digunakan sebagai ketentuan dalam standar emisi CO₂ yang diizinkan oleh pemerintah daerah dalam pengendalian emisi CO₂. Juga dapat menjadi sebuah persyaratan IMB dengan memenuhi ambang emisi CO₂ yang diizinkan.

Bangunan Gedung

Nilai dasar emisi CO₂ bahan bangunan yang sama dimungkinkan terjadi perbedaan antara satu produsen dengan produsen lainnya, hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan penggunaan sumber energi yang berbeda pada setiap industri. Sumber energi yang saat ini banyak digunakan di Indonesia adalah energi yang bersumber dari PLTU dengan bahan bakar batu bara, yang memiliki resiko tingkat emisi CO₂ paling tinggi dibandingkan dengan sumber energi lainnya, namun dari aspek harga, batu bara merupakan sumber energi yang paling murah.

Untuk menurunkan emisi CO₂ pada sektor bangunan gedung, perlu dimulai dari proses produksi bahan bangunan yang menggunakan sumber energi yang terbarukan, seperti halnya pengembangan komponen bangunan seperti lampu hemat energi, kloset *dual flush*, dsb.

Hampir seluruh bahan bangunan yang digunakan dalam pembangunan gedung mengandung emisi CO₂, namun tidak seluruh bahan bangunan tersebut berkontribusi sama besar pada emisi yang ditimbulkan, karena hal tersebut juga ditentukan oleh volume bahan bangunan yang digunakan. Beberapa bahan bangunan dikonsumsi lebih kecil dibandingkan dengan beberapa jenis bahan bangunan lainnya. Misalnya semen digunakan hampir pada setiap item pekerjaan, mulai dari pekerjaan pondasi, struktur, pengisi bangunan bahkan pada pekerjaan *plumbing* dan utilitas bangunan.

Menurut Gielen [1997] beberapa jenis bahan bangunan yang memiliki modus penggunaan di dalam konstruksi bangunan gedung adalah semen, baja tulangan, bahan-bahan jenis keramik (bata merah, genteng keramik, lantai keramik) serta kayu, baik kayu struktur maupun kayu pengisi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Melalui formula (3) dan (4) yang disusun pada tabel 4, dapat dilakukan perhitungan nilai emisi CO₂ pada bangunan gedung.

Dengan tersedianya model perhitungan emisi CO₂ pada bangunan gedung, maka selanjutnya dapat dilakukan kegiatan penelitian penentuan baku

mutu emisi CO₂ yang diizinkan pada bangunan gedung, sesuai dengan fungsi bangunan.

Model ini dapat digunakan sebagai alat kendali dalam proses perencanaan bangunan gedung rendah emisi CO₂.

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 2008. *SNI Analisa Biaya Konstruksi*. BSN-Pusat Litbang Permukiman, Jakarta-Bandung
- Brenda, Vale, R., 1991. *Green Architecture, Design for an Energy-Conscious Future*. A Bulfinch Book. Little, Brown and Company. London
- Calkins, M., 2009. *Materials for Sustainable Sites*. John Wiley & Sons. Inc. Canada.
- Fatihah, A.A., 2008. *Global Warming. Sebuah Isyarat Dekatnya Akhir Zaman dan Kehancuran Dunia*. Granada Mediatama. Jawa Tengah.
- Fay, R., Treloar, G., Iyer-Raganiga, U., 2000. *Life-cycle Energy Analysis of Building: a case study*. Journal Building Research & Information. E. & FN Spon.
- Gielen, D.J., 1997. *Building Material and CO₂*. Western Europe Emission Reductions Strategies. Netherlands Energy Research Fondation ECN.
- Seo, S., & Y. Hwang, 2001. *Estimation of CO₂ Emission in Life-cycle of Residential Building*. Journal of Construction, Engineering and Management. Vol 127. No. 5 September - October.
- UNEP, 2008. *Kick the Habit, a UN Guide to Climate Neutrality*. UNEMG. UNEP/GRID-Arendal.

Lampiran 1 Harga Dasar Emisi CO₂ (Hde)

No.	Jenis Bahan Bangunan	Satuan Bahan	Nilai Emisi CO ₂				Satuan	Keterangan
			Sumber Data			NE		
			1	2	3			
1	Batu Belah 15 cm / 20 cm	m ³	0,00095			0,00095	kg CO ₂	
2	Portland Cement (PC)	kg	0,22040	0,97000		0,97000	kg CO ₂	
3	Pasir Pasang (PP)	m ³	0,00045			0,00045	kg CO ₂	
4	Pasir Urug (PU)	m ³	0,00045			0,00045	kg CO ₂	
5	Pasir Beton (PB)	m ³	0,00045			0,00045	kg CO ₂	
6	Kerikil (KR)	m ³	0,00045			0,00045	kg CO ₂	
7	Bata Merah 5 x 11 x 22	bh		0,20610		0,20610	kg CO ₂	
8	Coblock HB 10	bh	0,01900			0,01900	kg CO ₂	
9	Besi Beton	kg	0,42559	0,85152	1,70000	0,85152	kg CO ₂	
10	Kawat Beton	kg	0,34538			0,34538	kg CO ₂	
11	Asbes Plat	m ²	0,01085			0,01085	kg CO ₂	
12	Paku tripleks	kg	0,37753		1,70000	1,70000	kg CO ₂	
13	Paku 5, 7, 10	kg	0,37753		1,70000	1,70000	kg CO ₂	
14	Pakuseng	kg	0,37753		1,70000	1,70000	kg CO ₂	
15	Skrup fixer	bh	0,37753		1,70000	1,70000	kg CO ₂	
16	Mur baut	kg	0,37753		1,70000	1,70000	kg CO ₂	
17	Kayu Lapis 4 mm	lbr	0,19957			0,19957	kg CO ₂	
18	Kayu Lapis 12 mm	lbr	0,30914			0,30914	kg CO ₂	
19	Kayu Lapis (90 x 2.20)	lbr	0,15966			0,15966	kg CO ₂	
23	Profit alumunium kusen	ml	3,03285			3,03285	kg CO ₂	
24	Gypsum board	lbr	0,22930			0,22930	kg CO ₂	
26	Paku skup gypsum	kg	0,37753			0,37753	kg CO ₂	
27	Tepung gypsum	kg	0,02624			0,02624	kg CO ₂	
28	Kayu kelas IV/ galam	m ³	0,02624			0,02624	kg CO ₂	
29	Kayu kelas III	m ³	0,02624			0,02624	kg CO ₂	
30	Kayu kelas II	m ³	0,02624			0,02624	kg CO ₂	
31	Lantai keramik 30 x 30	bh	0,20610			0,20610	kg CO ₂	
32	Lantai keramik 20 x 20 kasar	bh	0,20610			0,20610	kg CO ₂	
33	Lantai plint 30 x 10	bh	0,20610			0,20610	kg CO ₂	
35	Genteng keramik	bh	0,13111			0,13111	kg CO ₂	
36	Fiber semen gelombang	bh	0,01085			0,01085	kg CO ₂	
38	Bubungan keramik	bh	0,13111			0,13111	kg CO ₂	
40	Plat baja	kg	0,42503			0,42503	kg CO ₂	
42	Kaca 3 mm	m ²	0,22685			0,22685	kg CO ₂	
47	Pipa PVC di a 1/2"	btg	0,36230			0,36230	kg CO ₂	
48	Pipa PVC di a 3/4"	btg	0,54345			0,54345	kg CO ₂	
49	Pipa PVC di a 1"	btg	0,72460			0,72460	kg CO ₂	
50	Pipa PVC di a 3"	btg	0,90575			0,90575	kg CO ₂	
51	Pipa PVC di a 4"	btg	1,08690			1,08690	kg CO ₂	
54	Kabel NYM 0,25 mm	m ¹	1,59510			1,59510	kg CO ₂	
58	Arde listrik	m ¹	1,59510		3,75000	3,75000	kg CO ₂	
59	Arde penangkal petir	m ¹	1,59510		3,75000	3,75000	kg CO ₂	
60	Kabel penangkal petir	m ¹	1,59510		3,75000	3,75000	kg CO ₂	
	Penangkal petir	bh	1,59510		3,75000	3,75000	kg CO ₂	
64	Sealent	tube	1,23280			1,23280	kg CO ₂	

Sumber :

1 : Hwang

2 : Vale R.

3 : Gielen

NE : Nilai Emisi CO₂

Lampiran 2 Contoh Perhitungan Harga Emisi CO₂ Bangunan Gedung pada Rumah Susun Cigugur Tengah Cimahi

NILAI EMISI CO ₂ PEKERJAAN BANGUNAN RUMAH SUSUN									
Rusunawa Cigugur									
No.	Jenis Pekerjaan Dasar Bangunan Rumah susun	Dimensi			Volume		Set.	Harga Satuan Emisi CO ₂ (kg CO ₂)	Total Emisi CO ₂ (Kg CO ₂)
		m ³			bh	Volume			
		m ²		t					
		p	l		t	bh			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A. BANGUNAN BERSAMA									
A.I. Struktural									307.571,51859
1	Pondasi sumuran	1,00	1,00	5,00	42,00	210,00	m ³	296,094011	62.179,74231
2	Poor	1,00	1,00	0,60	42,00	25,20	m ³	463,3674005	11.676,85849
3	Sloof	7,00	0,25	0,30	50,00	26,25	m ³	509,1830923	13.366,05617
4	Kolom 30/40	0,30	0,40	2,80	170,00	61,12	m ³	602,5143135	36.825,67484
5	Kolom 20/20	0,20	0,20	2,80	40,00	8,48	m ³	602,5143135	5.109,32138
6	Balok 30/40	0,30	0,40	8,00	100,00	96,00	m ³	511,2245043	49.077,55241
7	Balok anak 30/40	0,30	0,40	3,00	250,00	90,00	m ³	511,2245043	46.010,20539
8	Tangga beton	3,00	6,00	0,12	4,00	8,64	m ³	559,0018912	4.829,77634
9	Plat lantai	0,12	21,00	14,00	4,00	141,12	m ³	465,8349093	65.738,62240
10	Plat lantai koridor	0,12	4,50	4,00	4,00	8,64	m ³	465,8349093	4.024,81362
11	Kuda-kuda	0,08	0,12	750,00	1,00	7,20	m ³	17,794314	128,11906
12	Penutup atap	1,00	23,00	16,00	4,00	1.472,00	m ²	5,786668581	8.517,97615
13	Hubungan	60,00	1,00	1,00	1,00	60,00	m'	1,446667145	86,80003
A.II. Arsitektural									22.701,68109
1	Plafond	0,12	21,00	1,00	1,00	2,52	m ²	0,35662722	0,89870
2	Lantai selasar	26,00	12,00	1,00	4,00	1.248,00	m ²	13,62822025	17.008,01887
3	Lantai tangga	3,00	5,00	2,00	4,00	120,00	m ²	13,62822025	1.635,38643
4	Railing tangga	6,00	1,00	2,00	4,00	48,00	m'	2,62811831	126,14968
5	Tailing selasar	30,00	1,00	1,00	4,00	120,00	m'	2,62811831'	315,37420
6	Lantai dasar	0,12	21,00	1,20	1,00	3,02	m ²	0,1039413	0,31402
7	Dinding pasangan konblok	13,00	2,80	16,00	4,00	2.329,60	m ²	1,552'	3.615,53920
8	Plesteran	1,00	1,00	1,00	-	-	m ²	13,22305215	-
9	Acian skoning	1,00	1,00	1,00	-	-	m'	0,48500585	-
A.III. Mekanikal dan Elektrikal									606,56350
1	Kabel NYM	18,00	3,00	1,00	5,00	270,00	m'	1,5951	430,67700
2	Armaturn lampu koridor	8,00	1,00	1,00	4,00	32,00	bh	0,0001	0,00320
3	Saklar utama koridor	2,00	1,00	1,00	4,00	8,00	bh	0,0001	0,00080
4	Tembaga penangkal petir	1,00	1,00	1,00	5,00	5,00	bh	3,75	18,75000
5	Kabel penangkal petir	75,00	1,00	1,00	1,00	75,00	m'	1,5951	119,63250
6	Arde penangkal petir	2,50	1,00	1,00	2,00	5,00	m'	3,75	18,75000
7	Arde listrik	2,50	1,00	1,00	2,00	5,00	m'	3,75	18,75000
B. BANGUNAN INDIVIDU (unit)									
B.I. Struktural									2,96409
1	Kolom praktis	0,10	0,10	2,40	2,00	0,05	m ³	283,507328	13,60835
2	Plat beton dapur	0,01	1,20	0,50	1,00	0,00	m ³	283,507328	0,85052
3	Balok lintel	0,10	0,10	3,00	1,00	0,03	m ³	283,507328	8,50522
B.II. Arsitektural									52,67497
1	Penutup lantai	3,00	6,00	1,00	1,00	18,00	m ²	0,1038413	1,86914
2	Plint	16,00	1,00	1,00	1,00	16,00	m'	1,816242025	29,05987
3	Penutup plafond	3,00	6,00	1,00	1,00	18,00	m ²	0,35662722	6,41929
4	Kusen pintu dan jendela	0,05	0,12	1,00	1,00	0,01	m ³	0,368864	0,00221
5	Daun pintu panel	0,04	0,10	6,40	2,00	0,05	bh	0,0014496	0,00007
6	Daun pintu kamar mandi	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	bh	0,211742	0,21174
7	Daun jendela	0,04	0,07	4,20	2,00	0,02	bh	0,046326	0,00095
8	Teralis	1,50	1,50	1,00	1,00	2,25	kg	2,62811831	5,91327
9	Railing	3,50	1,00	1,00	1,00	3,50	m'	2,62811831	9,19841
B.III. Mekanikal dan Elektrikal									70,32650
1	Kabel NYM	40,00	1,00	1,00	1,00	40,00	m'	1,5951	63,80400
2	Armaturn lampu	3,00	1,00	1,00	1,00	3,00	bh	0,0001	0,00030
3	Saklar	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	bh	0,0001	0,00020
4	Stop kontak	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	bh	0,0001	0,00020
5	Pipa PVC	6,00	1,00	1,00	1,00	6,00	m'	1,0869	6,52140
6	Kran	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	bh	0,0001	0,00020
7	Floor drain	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	bh	0,0001	0,00010
8	Bak mandi	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	bh	-	-
9	Kloset jongkok/ duduk	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	bh	0,0001	0,00010
10	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	bh	-	-

Lampiran 3 Rekapitulasi Nilai Emisi CO₂ Rumah Susun Cigugur Tengah Cimahi

REKAPITULASI Cigugur Tengah							
Cigugur Tengah							
No.	Kelompok Pekerjaan	Jumlah Unit Dalam Satu Unit	Nilai Emisi CO ₂ (kg CO ₂)	Total Emisi Bangunan (kg CO ₂)	Total Emisi Per Unit (kgCO ₂)	%	
						Bgn	Unit
A. BANGUNAN BERSAMA		48				99,02%	50,72%
A. I.	Struktural		307.571,52	330.879,76	6.407,74		
A. II.	Arsitektural		22.701,68		472,95		
A. III.	Mekanikal dan Elektrikal		606,56		12,64		
B. BANGUNAN INDIVIDU (unit)						1,98%	49,28%
B. I.	Struktural		22,96	1.102,28	6.698,22		
B. II.	Arsitektural	46,26	2.220,27				
B. III.	Mekanikal dan Elektrikal	70,33	3.375,67				
TOTAL EMISI CO ₂				337.577,98	13.591,55	100%	100%
bobot				96,13%	3,87%	100%	

Dari hasil perhitungan dan analisis di atas didapatkan nilai emisi CO₂ bangunan (**NE**) sebesar 337,577,98 kg CO₂. Diketahui luas bangunan keseluruhan adalah 1.770 m², maka nilai dasar emisi CO₂ bangunan (**HSE**) per m² adalah 190,72 kg CO₂ per m².