

ESTIMASI EMISI CO₂ DARI PEMBANGUNAN BERBAGAI UKURAN RUMAH SEDERHANA

ESTIMATION OF CO₂ EMISSION FROM DEVELOPMENT OF VARIOUS SIZES OF LOW-COST HOUSE

^{1*} Priana Sudjono, ² Chendy Octaviana Yudhi

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl Ganesha 10 Bandung 40132

*¹ laily. psudjono@comices.org, ² chendy.octaviana@gmail.com

Abstrak: Mendirikan rumah akan mengemisikan CO₂ ke udara. Emisi CO₂ tersebut berasal dari pembuatan dan pengangkutan bahan bangunan, serta pekerjaan konstruksi. Penelitian ini mencoba memperkirakan besaran emisi CO₂ dari pembangunan rumah sederhana. Penelitian diawali dengan pendataan jenis bahan bangunan dan perhitungan kebutuhan bahan bangunan setiap tipe rumah yang merupakan fungsi luas lantai. Kemudian penentuan faktor emisi berbagai bahan bangunan didasarkan pada penelitian terdahulu. Untuk memperoleh gambaran hubungan antara jenis bahan bangunan dan tipe rumah dengan besaran emisi CO₂, simulasi dilakukan dengan berbagai skenario yang menyertakan luas rumah dan variasi bahan bangunan sebagai variabel. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tipe rumah dan jenis bahan bangunan berperan penting dalam mencapai besaran emisi CO₂. Terdapat indikasi bahwa kerumitan pembuatan bahan bangunan dan rumah mempengaruhi besaran emisi CO₂. Dengan demikian kesimpulan yang dapat diambil adalah besaran emisi CO₂ berbanding lurus dengan luas rumah, jenis dan volume kebutuhan bahan bangunan serta tingkat kerumitan proses konstruksi. Dengan mempertimbangkan variabel tersebut, konstruksi suatu rumah yang rendah emisi CO₂ dapat direncanakan.

Kata kunci: emisi, CO₂, bahan bangunan, rumah

Abstract : Construction of a house will emit CO₂ into the air. The emitted CO₂ comes from manufacturing and transporting building materials and construction works. The study tried to estimate the amount of CO₂ emissions from the construction of low-cost houses. The study begins with data collection on the type of building materials and the estimation of the required volume of the building materials for each type of house that is a function of floor area. Then the emission factors of various building materials are determined based on several previous researches. To obtain a figure of the relationships between the type of building materials, type of house with the amount of CO₂ emissions, simulations were carried out with the wide variety of scenarios that include house type and variety of building materials as variables. The simulation results show the relationship between the type of the house and the type of building materials plays important roles in the amount of CO₂ emission. There are indications that the complexity of manufacturing a building material and the house affect the emissions of CO₂. Thus the conclusion is that the amount of CO₂ emission is proportional to the area of the house, types of building materials and the volume of building material needs, and the complexity of the construction process. Taking into account of these variables, construction of a house emitted low CO₂ can be planned.

Key words: CO₂, emissions, construction materials, house.

PENDAHULUAN

Penyediaan perumahan harus dapat menjangkau semua kelompok masyarakat terutama mereka yang berpenghasilan rendah dengan jumlah sangat besar. Bagi kelompok masyarakat ini, dibutuhkan upaya penyediaan perumahan murah yang layak dan terjangkau akan tetapi tetap memenuhi persyaratan kesehatan, keamanan, dan kenyamanan. Disamping itu, besaran emisi CO₂ perlu diperhitungkan dengan lebih tepat untuk control emisi CO₂ dari pembangunan rumah.

Berbagai bahan bangunan seperti batu bata, besi, genteng, semen, pasir, batu kali dan kayu diperlukan untuk pembuatan satu unit rumah. Proses pembuatan bahan bangunan atau penyediaan bahan bangunan tersebut, gas karbondioksida (CO₂) diemisikan ke udara. Emisi ini berasal dari proses pengolahan bahan baku, transportasi bahan, proses konstruksi rumah, dan respirasi para pekerja. Kebutuhan material bangunan untuk pembangunan rumah sebanding dengan jumlah rumah yang akan dibangun. Di perkotaan sebagai lingkungan binaan, rumah dan transportasi menjadi kebutuhan hidup yang menyumbang emisi CO₂ (Astuti, 2005; Bhattachayya, 2010; Herawati, 2010, Maulana dan Setiawan, 2014).

Karbondioksida (CO₂) termasuk gas yang memberi sumbangan paling besar terhadap efek rumah kaca, selain metana (CH₄) dan dinitro oksida (N₂O). Pemanasan global dan perubahan iklim merupakan dampak dari rumah kaca. Berbagai pendekatan analitik maupun eksperimental dapat dilakukan dalam memprediksi emisi gas CO₂. Pendekatan analitik dilakukan dengan penyusunan formula prediksi berdasarkan perilaku berbagai parameter fisik dan dengan mempergunakan berbagai kaidah fisik. Komposisi ideal dari CO₂ dalam udara bersih seharusnya adalah 314 ppm. Sebagaimana telah diketahui bahwa jumlahnya yang berlebihan akan menimbulkan efek gas rumah kaca (GRK). Emisi CO₂ berasal dari pembakaran bahan bakar fosil merupakan penyebab terbesar sekitar 50% dari efek GRK.

Pembuatan bahan bangunan membutuhkan energi baik dalam tahap pengumpulan bahan baku maupun proses pembentukan bahan bangunan tersebut. Bahan bakar seperti minyak bumi, kayu, sekam bahkan ban bekas digunakan secara langsung pada proses pembuatan maupun tidak langsung pada proses pendukungnya. Karena pembuatan bahan bangunan membutuhkan energy, berarti setiap unit bahan bangunan mengemisikan sejumlah CO₂. Faktor-faktor yang diperkirakan mempengaruhi besaran emisi dalam pembuatan bahan bangunan adalah kebutuhan energy, faktor emisi pada proses pembuatan atau penyediaan bahan dasar bahan bangunan. Pada umumnya, emisi CO₂ bersumber dari transportasi, sampah, dan konsumsi energi listrik rumah tangga. Emisi CO₂ relatif tinggi sehingga mengganggu sistem kesetimbangan di udara yang dapat merusak lingkungan dan kehidupan manusia (Yoshinori, et al., 2009).

Pembangunan rumah diperkirakan tergantung dari jumlah, jenis dan jarak sumber bahan bangunan serta proses konstruksi. Jumlah bahan bangunan tergantung dari luas rumah. Selain itu pengangkutan bahan bangunan ke lokasi proyek membutuhkan energi untuk kendaraan pengangkut. Selanjutnya, proses pengerjaan bangunan melibatkan manusia dan peralatan yang seluruhnya membutuhkan energy. Besarnya kebutuhan energi pada proses pembangunan tergantung dari jenis rumah. Akan tetapi, pada penyelenggaraan perumahan perkotaan modern, timbulan emisi CO₂ di udara dapat dikendalikan sejak dari proses pra-konstruksi, konstruksi, hingga aktifitas pasca-konstruksi terutama melalui konsumsi energi listrik dan bahan bakar dari keperluan rumah tangga (Priemus, 2005; Suhedi, 2007).

Perkiraan emisi CO₂ dari pembangunan atau pendirian sebuah rumah dapat dirumuskan. Adanya formula tersebut memungkinkan pengkajian prediksi emisi CO₂ dari pembangunan berbagai tipe rumah dalam suatu kawasan. Dengan diketahuinya peran masing-masing faktor penentu emisi dalam pembuatan bahan bangunan dan rumah, inisiatif pengurangan ataupun pengendalian emisi pembangunan rumah sederhana dapat dirumuskan.

Tujuan dari estimasi ini adalah untuk pembuktian bahwa besaran emisi tersebut ditentukan oleh jenis, jumlah dan jarak asal bahan bangunan, dan pekerjaan konstruksi. Dengan demikian makalah ini menampilkan perhitungan besaran emisi CO₂ dari pembangunan rumah sederhana dari berbagai tipe rumah dan faktor-faktor yang mempengaruhi besaran emisi CO₂ tersebut.

METODOLOGI

Penelitian ini difokuskan pada perkiraan emisi CO₂ dari Rumah Sederhana atau Perumnas di Sarijadi, Bandung. Perhitungan besaran emisi didasarkan pada emisi bahan bangunan, pengangkutan bahan bangunan ke lokasi proyek dan emisi pada masa konstruksi. Dengan kata lain emisi adalah fungsi dari Jumlah kebutuhan tiap bahan bangunan, Faktor emisi Distribusi bahan bangunan, Emisi Kendaraan per satuan jarak, Jarak dari sumber ke lokasi proyek, Jumlah Pekerja, dan Ekvivalen Emisi Pekerja. Penelitian dimulai dengan pengumpulan data yang terdiri dari data pembuatan bahan bangunan, sumber bahan bangunan, dan data tipe rumah. Penelitian dilanjutkan dengan perhitungan emisi CO₂ dari tiap bahan bangunan, seperti batu bata, genteng, kayu, semen, besi, pasir, dan batu kali pondasi.

Formula tersebut kemudian ditransformasikan ke dalam komputer menggunakan bahasa Fortran. Program komputer ini digunakan untuk perhitungan simulasi pada berbagai tipe rumah dengan variasi luas rumah dan variasi penggunaan bahan bangunan. Hasil simulasi akan menunjukkan hubungan antara tipe rumah dan bahan bangunan dalam memprediksi emisi CO₂.

PEMBUATAN BAHAN BANGUNAN

Prediksi emisi CO₂ dari berbagai tipe rumah dalam kawasan tertentu dibuat berdasarkan atas perhitungan yang telah melalui berbagai pengembangan oleh para ahli. Perhitungan ini terdiri dari tiga unsur utama yaitu pembuatan bahan bangunan, distribusi bahan bangunan, dan tipe rumah.

Batu bata terbuat dari tanah liat yang dicampur terlebih dahulu dengan dedak. Untuk membuat dua ribu buah batu bata dibutuhkan sekitar sepuluh karung dedak. Kemudian campuran dicetak berbentuk balok berukuran 22x11x5 cm. Genteng terbuat dari tanah liat yang dicetak berbentuk balok berukuran 20x2x40 cm yang disebut empleng. Setelah dicetak, bata dan genteng kemudian dijemur untuk dikeringkan dua hari sebelum akhirnya dibakar. Bata dibakar dengan sekam sebanyak 20 karung untuk menghasilkan sepuluh ribu batu bata. Sedangkan genteng dibakar dengan kayu albasia sebanyak 18 meter kubik untuk 13500 genteng.

Bahan bangunan kayu berasal dari berbagai daerah perkebunan tanaman keras. Pada umumnya kayu dipasok ke Kota sudah berbentuk papan atau balok berukuran sehingga dapat langsung dipasarkan ke konsumen. Proses pengolahan kayu seperti penebangan pohon, pembentungan gelondongan kayu menjadi balok dan papan dikerjakan di daerah penanaman pohon.

Pasir dan batu kali berasal dari sungai maupun perbukitan di wilayah pegunungan. Dengan cara penggalian, bongkahan batu besar dipecah menjadi kecil. Kendaraan yang digunakan dalam proses pengambilan adalah truk dan traktor. Pasir dan batu kali kemudian diangkut ke wilayah pemukiman seperti kota-kota disekitarnya. Bahan baku utama dalam membuat semen adalah batu kapur (CaCO₃) dan Tanah Liat (Al₂Si₂O₇.XH₂O). Proses produksi semen terdiri dari penambangan bahan baku yang meliputi pembersihan lahan, pengeboran, peledakan, pengecilan ukuran batuan, pengerukan dan pengangkutan. Kemudian bahan baku tersebut dimasukkan kedalam unit pembakaran dan pengeringan. Unit pembakaran merupakan bagian terpenting, karena komponen utama semen terbentuk. Selanjutnya, Semen dibungkus sebelum dipasarkan kepada konsumen.

Besibaja merupakan komponen penting untuk pembangunan rumah. Bahan mentahnya berupa bijih besi pellet (Fe₂O₃ and Fe₃O₄). Dengan menggunakan gas alam (CH₄) dan air (H₂O), besi dicampur dengan *scrap, hot bricket iron* dan material tambahan lainnya untuk menghasilkan dua jenis baja yang disebut baja billet dan baja slab. Baja billet adalah baja dalam bentuk batangan yang akan digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan baja profil, baja tulangan beton, batang kawat, dan kawat. Sedangkan baja slab adalah baja yang berbentuk lembaran.

Distribusi bahan bangunan seperti kayu, semen, dan besi-baja melalui cara yang sama. Yaitu, bahan bangunan tersebut diangkut dari pabrik ke berbagai agen atau distributor, kemudian dikirim ke pedagang eceran. Sedangkan jalur distribusi batu bata, genteng, pasir dan batu kali pondasi langsung ke pedagang eceran bahkan konsumen.

EMISI GAS CO₂

Faktor emisi bahan bakar yang digunakan berdasarkan atas penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman (2002) disajikan pada Tabel.1.

Tabel 1. Faktor Emisi Bahan Bakar

Tipe Energi	Faktor Emisi
Kayu (kg-C/m ³)	0.37
Sekam (kg-C/m ³)	0.18
Tipe Energi	Faktor Emisi
Solar (kg-C/liter)	2.68
Bensin (kg-C/liter)	1.59
Gas (kg-C/kg)	3
Listrik (kg-C/kWh)	0.719
Minyak Tanah (kg-C/liter)	2.5359

Sumber: Puslitbangkim (2002)

Dalam perhitungan emisi dari pembuatan bahan bangunan, digunakan rumus berikut:

A. Emisi setiap Bahan Bangunan

$$\text{Emisi Tiap Bahan Bangunan (kg-C)} = (\text{kegiatan transportasi} \times \text{faktor emisi bahan bakar}) + (\text{pengolahan} \times \text{faktor emisi pada pengolahan}) + (\text{tenaga kerja} \times \text{faktor emisi tenaga kerja}) \quad (1)$$

Keterangan:

Kegiatan transportasi adalah aktivitas yang dilakukan untuk mengangkut bahan baku dari tempat asal hingga lokasi proyek. **Pengolahan** adalah aktivitas pengolahan bahan baku menjadi bahan bangunan siap pakai. **Tenaga kerja** adalah banyaknya tenaga manusia yang digunakan dalam pembuatan bahan bangunan. Sedangkan proses pembuatan dan besar emisi tiap bahan bangunan terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pembuatan dan Besar Emisi Tiap Bahan Bangunan

Bahan	kegiatan	kebutuhan energi	Faktor emisi	Emisi tiap kegiatan	Emisi per satuan bahan
batubata (10.000 buah)	transportasi bahan baku	20 liter	2,68	53,6	0,0111
	pengolahan	40 m ³	0,18	7,2	
	tenaga kerja	100	0,5	50	
genteng (13.500 buah)	transportasi bahan baku	30 liter	2,68	80,4	0,0272
	pengolahan	80 liter	2,68	214,4	
	pengolahan menggunakan press	8 liter	2,5359	20,2872	
	pengolahan dengan kayu tenaga kerja	5,94 m ³ 100	0,37 0,5	2,1978 50	
kayu (200 m ³)	pengolahan dengan solar tenaga kerja	10 liter	2,68	26,8	0,159
		10	0,5	5	
semen (8.760 kg)	transportasi bahan baku	10 liter	2,68	26,8	1,7727
	pengolahan dengan solar	400 liter	2,68	1072	
	pengolahan dengan listrik	20000	0,719	14380	

Bahan	kegiatan	kebutuhan energi	Faktor emisi	Emisi tiap kegiatan	Emisi per satuan bahan
	tenaga kerja	kWh 100	0,5	50	
besibaja (13.124 kg)	transportasi bahan baku pengolahan dengan solar pengolahan dengan listrik tenaga kerja	10 liter 400 liter 20000 kWh 100	2,68 2,68 0,719 0,5	26,8 1072 14380 50	1,1832
pasir (1.000 m3)	transportasi bahan baku pengolahan menggunakan genset tenaga kerja	40 liter 50 liter 9	2,68 2,68 0,5	107,2 268 4,5	0,3797
batukali (1.000 m3)	transportasi bahan baku pengolahan menggunakan traktor tenaga kerja	40 liter 50 liter 3	2,68 2,68 0,5	107,2 268 1,5	0,3767
Asbestos (*)					0,0109
Keramik (*)					0,2061

*) Seo dan Hwang (2001)

B. Emisi dari Kegiatan Distribusi Bahan Bangunan

Emisi Kegiatan Distribusi (kg-C) = Besar Bahan Bakar x Faktor Emisi (2)

Tabel 3. Emisi Kegiatan Distribusi Tiap Bahan Bangunan dari Tempat Pembuatan ke Bandung

Nama bahan	Besar Bahan Bakar (liter)	Faktor emisi (kg-C/liter)	Emisi (kg-C)	Emisi per satuan bahan
batubata (10.000 buah)	40	2,68	107,2	0,0107
Genteng (13.500 buah)	40	2,68	107,2	0,008
Kayu (200 m3)	40	2,68	107,2	0,536
semen (8760 kg)	125	2,68	335	0,0382
besibaja (13.124 kg)	50	2,68	134	0,0102
pasir (1.000 m3)	35	2,68	93,8	0,0938
batu pondasi (1.000 m3)	20	2,68	53,6	0,0536

Bandingkan dengan besarnya emisi CO₂ dari produksi material bangunan berdasarkan penelitian Seo dan Hwang (2001).

Tabel 4. Emisi CO₂ dari Bahan Bangunan

Jenis Bahan Bangunan	Emisi CO ₂ (kg-C/kg)
Pasir/kerikil	0.00049
Batu belah	0.00095
Bata semen	0.01140
Semen	0.22040
Genteng Keramik	0.2061
Kayu	0.02624
Paku	0.37753
Baja	0.42503

Sumber: Seo dan Hwang (2001)

Perbedaan besar emisi CO₂ dari material bangunan dikarenakan perbedaan cara pembuatan, lama pengerjaan, jarak serta kondisi cuaca dan iklim yang turut menentukan efektivitas produksi. Pada umumnya pembuatan bahan bangunan di Indonesia masih padat karya, sedangkan di Korea Selatan, bahan baku didatangkan dari negara lain.

FORMULASI MODEL KOMPUTER DAN STRATEGI SIMULASI

Formulasi model pada berbagai variasi bahan bangunan dan tipe rumah diperoleh berdasarkan perhitungan yang telah dibuat sebelumnya. Penentuan bahan bangunan yang digunakan didasarkan atas Analisa Biaya Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan (SNI, 2002) dan pengamatan lapangan.

Rumus:

$$E = f_r \times \left[\sum \{ (fEb \times Vb) + (Ek \times fEk \times l) + (p \times fEm) \} \right]$$

- fr = Faktor rumah.
- fEb = Faktor emisi tiap bahan bangunan.
- Vb = Jumlah kebutuhan tiap bahan bangunan.
- Ek = Emisi Kendaraan per satuan jarak
- fEk = Faktor emisi Distribusi bahan bangunan
- l = Jarak dari sumber ke lokasi proyek
- p = Jumlah Pekerja
- fEm = Ekuivalen Emisi Pekerja

'Faktor rumah' adalah faktor perkalian yang tergantung pada luas rumah, kebutuhan bahan bangunan, lama pengerjaan konstruksi bangunan, detil pengerjaan konstruksi bangunan dan jumlah pekerja dan peralatan mesin yang digunakan. Tipe rumah yang digunakan adalah rumah sederhana sehat (Rs Sehat), yaitu rumah yang dibangun dengan menggunakan bahan bangunan dan konstruksi sederhana. Dalam simulasi, tipe rumah berdasarkan luas, antara lain rumah tipe 21, tipe 36, tipe 45 dan tipe 70. Masing-masing tipe tersebut ditentukan besar faktor tipe rumah sebagai berikut: fr tipe 21 = 1,5; itr tipe 36 = 2; itr tipe 45 = 2,5 dan intr tipe 70 = 3,5. Penentuan tersebut dilakukan berdasarkan asumsi bahwa semakin besar dan rumit pengerjaan rumah, semakin besar waktu dan biaya yang dihabiskan, maka semakin besar faktor rumah tersebut. Program komputer untuk prediksi emisi CO₂ dari berbagai tipe rumah sederhana sehat yang telah dibuat kemudian disimulasikan. Simulasi dilakukan berdasarkan kebutuhan bahan bangunan tiap tipe rumah. Perbedaan kebutuhan mungkin terjadi akibat perbedaan luas rumah, penggunaan berbagai jenis bahan bangunan untuk pondasi, lantai,

dinding dan atap. Tabel 5 memperlihatkan perkiraan rancangan rumah tipe 21, tipe 36, tipe 45 dan tipe 70. Perkiraan rancangan tersebut diasumsikan berdasarkan pengamatan lapangan.

Tabel 5. Perkiraan Rancangan Rumah Tipe 21, Tipe 36, Tipe 45 dan Tipe 70.

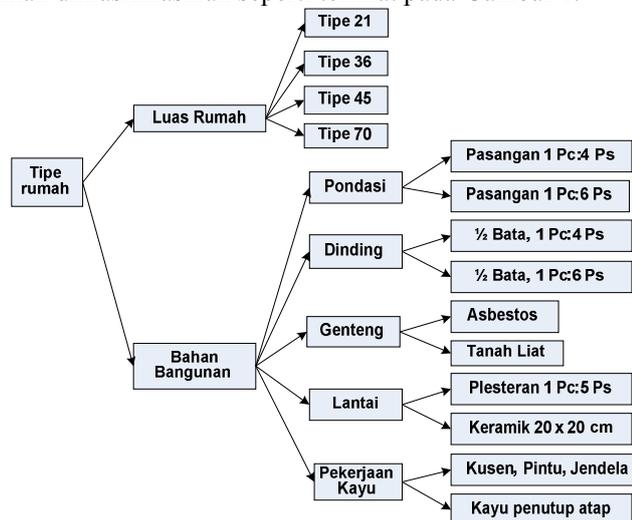
Ruangan	Tipe 21		Tipe 36	
	Ukuran (m ²)	Jumlah	Ukuran (m ²)	Jumlah
Luas Total Rumah	21		36	
Ruang Tidur	3,00 x 3,00	1	3,00 x 3,00	2
Ruang Tidur Anak	-	-	-	-
Ruang Tamu	-	-	3,00 x 2,00	1
Ruang Keluarga	3,00 x 3,00	1	3,00 x 3,00	1
Kamar Mandi dan WC	1,50 x 2,00	1	1,50 x 2,00	1
Dapur	-	-	-	-

Sumber: Puslitbangkim, 2002

Ruangan	Tipe 45 *)		Tipe 70 *)	
	Ukuran (m ²)	Jumlah	Ukuran (m ²)	Jumlah
Luas Total Rumah	45		70	
Ruang Tidur	3,00 x 3,00	2	3,00 x 3,00	3
Ruang Tidur Anak	3,00 x 3,00	1	3,00 x 3,00	1
Ruang Tamu	3,00 x 2,00	1	3,00 x 3,33	1
Ruang Keluarga	3,00 x 3,00	1	3,00 x 4,00	1
Kamar Mandi dan WC	1,50 x 2,00	1	1,50 x 2,00	1
Dapur	-	-	3,00 x 3,00	1

*) Rumah Tipe 45 dan Tipe 70 merupakan asumsi penulis

Simulasi bertujuan untuk mengetahui besar emisi CO₂ dari berbagai tipe rumah. Melalui simulasi ini diharapkan nantinya dapat digunakan untuk perencanaan strategi perumahan rendah emisi. Berbagai tipe rumah diklasifikasikan seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Variasi tipe rumah untuk Simulasi.

Berikut adalah hasil perhitungan besar kebutuhan bahan bangunan yang digunakan tiap pasangan pada setiap tipe rumah.

Tabel 6. Kebutuhan Bahan Bangunan pada Setiap Tipe Rumah

Bahan pasangan pondasi	tipe 21	tipe 36	tipe 45	tipe 70
batu kali 1 Pc:4 Ps				
batu belah 15/20 cm (m3)	23,1	39,6	49,5	77
semen portland (kg)	3423	5868	7335	11410
pasir pasang (m3)	10,92	18,72	23,4	36,4
man days	46,935	80,46	100,575	156,45
batu kali 1 Pc:6 Ps				
batu belah 15/20 cm (m3)	23,1	39,6	49,5	77
semen portland (kg)	2457	4212	5265	8190
pasir pasang (m3)	11,781	20,196	25,245	39,27
man days	46,935	80,46	100,575	156,45

bahan pasangan lantai	tipe 21	tipe 36	tipe 45	tipe 70
1 Pc:5 Ps, tebal 25 mm				
semen portland (kg)	182,62	301,72	373,18	571,68
pasir pasang (m3)	0,897	1,482	1,833	2,808
man days	12,259	20,254	25,051	38,376
Lantai Keramik 20 x 20 cm				
ubin keramik 20 x 20 cm (buah)	575	950	1175	1800
semen portland (kg)	261,74	432,44	534,86	819,36
pasir pasang (m3)	0,966	1,596	1,974	3,024
man days	23,966	39,596	48,974	75,024

bahan pasangan dinding	tipe 21	tipe 36	tipe 45	tipe 70
1/2 bata merah tebal, 1 Pc:4 Ps				
bata merah 5x11x22 cm (buah)	3675	6300	7875	12250
semen portland (kg)	603,75	1035	1293,75	2012,5
pasir pasang (m3)	2,2575	3,87	4,8375	7,525
man days	23,3625	40,05	50,0625	77,875
1/2 bata merah tebal, 1 Pc:6 Ps				
bata merah 5x11x22 cm (buah)	3675	6300	7875	12250
semen portland (kg)	436,8	748,8	936	1456
pasir pasang (m3)	2,5725	4,41	5,5125	8,575
man days	23,3625	40,05	50,0625	77,875

bahan pekerjaan plesteran	tipe 21	tipe 36	tipe 45	tipe 70
1 Pc:4 Ps, tebal 25 mm				
semen portland (kg)	497,7	853,2	1066,5	1659
pasir pasang (m3)	1,995	3,42	4,275	6,65
man days	27,9825	47,97	59,9625	93,275

bahan pekerjaan kayu genteng	tipe 21	tipe 36	tipe 45	tipe 70
konstruksi kuda2 kayu				
kayu, balok (m3)	23,1	39,6	49,5	77
besi (kg)	331,8	568,8	711	1106

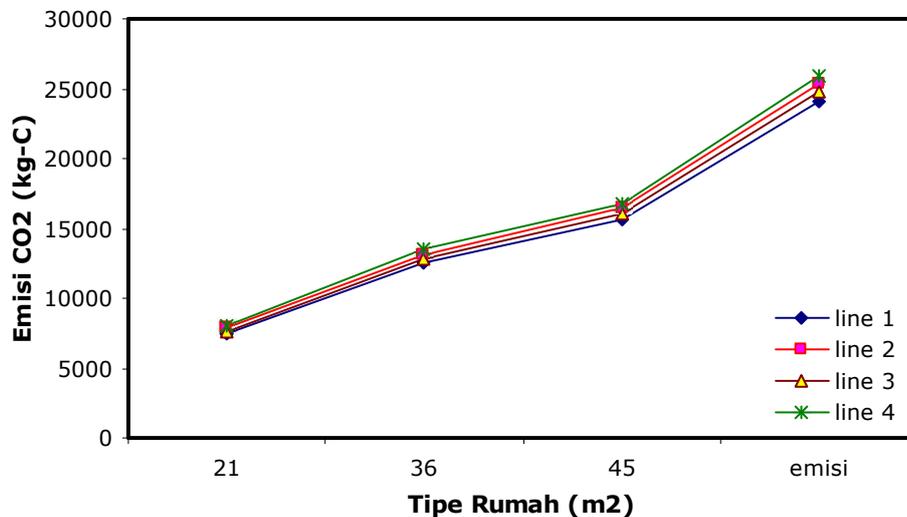
man days	365,4	626,4	783	1218
kaso+reng genteng kodok				
kayu, balok (m3)	0,252	0,432	0,54	0,84
besi (kg)	3,15	5,4	6,75	10,5
man days	4,515	7,74	9,675	15,05
kaso+reng atap asbes				
kayu, balok (m3)	3,465	5,94	7,425	11,55
besi (kg)	4,2	7,2	9	14
man days	5,418	9,288	11,61	18,06
rangka langit2 (1 mx1 m)				
kayu, balok (m3)	0,252	0,432	0,54	0,84
besi (kg)	2,1	3,6	4,5	7
man days	10,5	18	22,5	35
lisplang ukuran (3x20 cm)				
kayu, papan (m3)	0,1512	0,2592	0,324	0,504
besi (kg)	1,05	1,8	2,25	3,5
man days	6,825	11,7	14,625	22,75
list plafond				
kayu, balok (m3)	22,05	37,8	47,25	73,5
man days	0,945	1,62	2,025	3,15
bahan				
pekerjaan kayu	tipe 21	tipe 36	tipe 45	tipe 70
kusen pintu dan jendela				
kayu, balok (m3)	7,2	9,6	14,4	19,2
man days	174,15	232,2	348,3	464,4

bahan pekerjaan genteng	tipe 21	tipe 36	tipe 45	tipe 70
genteng palentong kecil				
genteng palentong	635	1040	1300	2025
man days	6,1214	10,0256	12,532	19,521
genteng bubung palentong				
genteng bubung palentong (buah)	127	208	260	405
semen portland (kg)	203,2	332,8	416	648
pasir pasang (m3)	0,8128	1,3312	1,664	2,592
man days	15,7988	25,8752	32,344	50,382
Asbetos				
Asbes Gelombang (lbr)	12,7	20,8	26	40,5
besi (kg)	3,048	4,992	6,24	9,72
man days	5,8674	9,6096	12,012	18,711

Ruang-ruang yang perlu disediakan sekurang-kurangnya terdiri dari: satu ruang tidur yang memenuhi persyaratan keamanan dengan bagian-bagiannya tertutup oleh dinding dan atap serta memiliki pencahayaan dan ventilasi. Bagian ini merupakan ruang utuh sesuai dengan fungsi utamanya. Kemudian, satu ruang serbaguna yang merupakan ruang kelengkapan rumah untuk interaksi antara keluarga. Selain itu, satu sarana MCK (Mandi Cuci Kakus) merupakan bagian yang sangat menentukan higienitas rumah untuk kegiatan mandi cuci dan kakus. (Puslitbangkim, 2002).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil simulasi berdasarkan perbedaan luas rumah, jumlah dan jenis bahan bangunan.



Keterangan:

Emisi CO₂ dari Pembangunan Rumah Berbagai Tipe dengan Menggunakan Pasangan Pondasi 1 Pc:6 Ps, Pasangan Dinding 1/2 Bata Merah 1 Pc:6 Ps

Line 1: Lantai Plesteran Tebal 25 mm 1 Pc:5 Ps dan Genteng Asbes

Line 2: Lantai Plesteran Tebal 25 mm 1 Pc:5 Ps dan Genteng Tanah Liat

Line 3: Lantai Keramik 20 x 20 cm dan Genteng Asbes

Line 4: Lantai Keramik 20 x 20 cm dan Genteng Tanah Liat

Gambar 2. Emisi CO₂ dari Pembangunan Rumah Berbagai Tipe dengan Menggunakan Pasangan Pondasi 1 Pc:6 Ps, Pasangan Dinding 1/2 Bata Merah 1 Pc:6 Ps, dan Variasi Lantai dan Genteng

Garis-garis pada Gambar 2 menunjukkan perbedaan besaran emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembangunan berbagai tipe rumah. Antara Line 1 dengan Line 2 terlihat kenaikan emisi CO₂ rata-rata sekitar 5,06% untuk setiap tipe rumah. Begitu pula dengan Line 3 dengan Line 4 yang juga menunjukkan terjadi peningkatan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh berbagai tipe rumah sebesar 5,01%. Hal ini karena perbedaan genteng yang digunakan, dimana proses pembuatan genteng tanah liat lebih rumit dan melalui proses panjang.

Line 1 sampai Line 4 memperlihatkan hasil simulasi program untuk memprediksi emisi CO₂ pada tipe rumah yang menggunakan pasangan pondasi 1 Pc:6 Ps dan dinding 1/2 bata merah 1 Pc:6 Ps. Perbedaan tiap grafik terletak pada variasi lantai dan genteng. Terjadi peningkatan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh semakin besarnya tipe rumah. Perbedaan besaran emisi CO₂ dapat pula dijelaskan dari emisi CO₂ genteng tanah liat yang lebih rendah dibandingkan dengan emisi pada pembuatan asbes. Demikian pula emisi CO₂ lantai keramik lebih besar dibandingkan dengan emisi dari plesteran biasa.

Berdasarkan hasil simulasi, emisi CO₂ rumah dipengaruhi oleh banyaknya semen yang dipergunakan, jumlah serta jenis lantai dan atap. Hal ini menunjukkan bahwa jenis bahan bangunan sangat berperan pada besaran emisi yang akan dihasilkan oleh sebuah rumah. Penggunaan asbes dan genteng tanah liat memberi pengaruh yang sangat besar pada emisi CO₂, yaitu sebesar 90,11%. Hasil simulasi ini mengindikasikan bahwa pembuatan bahan bangunan yang rumit dan melalui proses yang panjang mempengaruhi besar emisi CO₂ yang dihasilkan tiap rumah. Begitu juga, kegiatan konstruksi yang diekivalensikan dengan jumlah

pekerja sangat berpengaruh pada hasil hitungan emisi. Karena itu, perlu adanya pengelolaan kegiatan pembangunan rumah agar rendah emisi CO₂.

Salah satu upaya pengurangan emisi CO₂ adalah dengan melakukan pengaturan proses pengolahan bahan baku. Berbagai proses yang selama ini menghasilkan emisi CO₂ pada pembuatan bahan bangunan harus diatur kembali. Pemakaian bahan bakar sebagai sumber energi dalam menunjang proses pembuatan bahan bangunan masih sangat berperan. Misalnya, penggunaan sekam pada pembakaran genteng dan bata dapat diganti dengan kayu yang telah diuji sebelumnya di laboratorium sehingga diperoleh jenis kayu yang paling baik dalam peningkatan kalor dan minim emisi CO₂. Sedangkan untuk penggunaan bahan bakar solar, listrik dan gas, upaya pengurangan emisi CO₂ dapat dilakukan dengan mempergunakan alat hemat energi. Bisa juga dengan penggunaan bahan bakar rendah emisi, seperti biodiesel. Industri harus berusaha melakukan pengurangan emisi untuk memenuhi kebijakan pemerintah.

Upaya pengurangan emisi CO₂ berikutnya adalah pengaturan distribusi bahan bangunan. Salah satunya adalah pemilihan industri pemasok bahan bangunan yang berlokasi lebih dekat dengan proyek. Bisa juga dengan penggantian moda transportasi bahan bangunan dengan moda transport yang hemat energi. Perlu pula, penggantian bahan bakar kendaraan dengan kendaraan yang lebih hemat energi dan rendah emisi, seperti gas alam ataupun biodiesel.

Pengurangan emisi CO₂ juga bisa dilakukan dengan pengontrolan pada proses konstruksi. Upaya yang dapat dilakukan antara lain: penghematan jumlah bahan bangunan berdasarkan tipe rumah, memperkirakan jumlah pekerja yang diperlukan dan aktivitas mesin serta konsumsi bahan bakar. Upaya ini adalah tanggapan atas besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan dari sebuah rumah.

KESIMPULAN

Pembangunan Rumah menghasilkan emisi CO₂ yang berasal dari pembuatan bahan bangunan, transportasi bahan bangunan, serta proses konstruksi. Rumah Sederhana dibagi berdasarkan luas bangunan, yaitu Rumah tipe 21, tipe 36, tipe 45 dan tipe 70. Perhitungan emisi dilakukan dengan memperhatikan variasi campuran mortar untuk pasangan pondasi, lantai, dan dinding, serta jenis bahan bangunan. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa rumah mengemisikan CO₂ yang besarnya tergantung pada tipe ataupun kerumitan konstruksi, volume dan jenis bahan bangunan, serta jarak sumber bahan bangunan ke lokasi proyek. Hasil simulasi juga mengindikasikan bahwa kerumitan dan proses pembuatan bahan bangunan mempengaruhi besar emisi CO₂. Selain itu, semakin banyak bahan bangunan yang dibutuhkan sesuai dengan ukuran bangunan, maka semakin besar pula emisi CO₂. Untuk itu, diperlukan pengendalian kegiatan pembangunan rumah antara lain ditujukan pada proses pembuatan bahan bangunan, pengaturan distribusi bahan bangunan, dan pengontrolan pada proses pembangunan. Perhitungan emisi dapat digunakan dalam perencanaan perbaikan rumah rendah emisi CO₂.

DAFTAR PUSTAKA

- Maulana, Affan Sani., dan Rulli Pratiwi Setiawan. Keterkaitan Tipe Hunian dengan Emisi CO₂ di Kota Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*. Vol 3, No 1 (2014): C5-C9.
- Astuti. 2005. Pengaruh Rancangan Ruang Kawasan Perumahan Perkotaan Terhadap Emisi CO₂, Makalah Seminar, Lokakarya Temu Kenali Faktor-Faktor Penentu Emisi CO₂ Menuju Kearifan Terbentuknya Pemukiman Perkotaan.
- Bhattacharyya, R., Ghoshal, T. 2010. Economic Growth and CO₂ Emissions, *Environ Dev Sustain* (2010) 12:159-177.
- Herawati, P. 2010. Analisa Komponen Penentu Emisi CO₂ Dari Dinamika Perubahan Rumah Dalam Sistem Kehidupan Perkotaan di Perumnas Sarijadi Bandung, Thesis, Institut Teknologi Bandung.
- Priemus, H. 2005. How To Make Housing Sustainable? The Dutch Experience, *Environment and Planning: Planning and Design*, 2005 vol. 32, pp. 5-19.

- Suhedi, F. 2007. Emisi CO₂ dari Konsumsi Energi Domestik, makalah Seminar. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman
- Puslitbangkim (Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman) Departemen Pekerjaan Umum (2002), *Keputusan Menteri Pemukiman dan Prasarana Wilayah Republik Indonesia No. 403/KPTS/M/2002 Tentang Pedoman Teknis Pembangunan Rumah Sederhana Sehat (Rs Sehat)*, Bandung.
- Puslitbangkim (Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman) Departemen Pekerjaan Umum (2005), *Keterkaitan Penyelenggaraan Bangunan dengan Emisi CO₂*, Bandung.
- Seo, S. and Y. Hwang. 2001. "Estimation of CO₂ Emission in Life Cycle of Residential Building". *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 127, No.5,414-418.
- Standar Nasional Indonesia (2002), *SNI Analisis Biaya Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan*, Jakarta.
- Yoshinori, F., Hiroshi, M., and C. S. Ho. 2009. Assessment of CO₂ emissions and resource sustainability for housing construction in Malaysia, *International Journal of Low-Carbon Technologies* 2009, 4, 16–26.