

Identifikasi Nilai *Embodied Energy* sebagai Upaya Mitigasi Energi dalam perencanaan Bangunan

Yuni Sri Wahyuni ¹, Dewi Larasati Z.R. ²

¹ Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah, Sukabumi

² Sekolah Arsitektur, perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung.

Abstrak

Siklus bangunan terdiri atas berbagai tahapan sepanjang daur hidup bangunan tersebut, dimana setiap tahapan mengandung kebutuhan energi yang menyertai aktivitasnya. Energi ini disebut *Embodied Energy* (EE). Nilai EE dapat menjadi dasar perhitungan potensi besaran *Emission Carbon* (EC) yang akan ditimbulkan suatu bangunan sehingga potensi dampak lingkungan akibat EC dapat diukur. Paper ini bertujuan menjelaskan hasil perhitungan EE material pada pembangunan perumahan sederhana di Indonesia. Harapannya adalah nilai EE ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam upaya mitigasi energi, yang pada akhirnya akan menjadi mitigasi potensi EC dan mencegah dampak kerusakan lingkungan sejak dini. Di sisi lain, kebutuhan perumahan sederhana yang bersifat massal membutuhkan pasokan material bangunan dalam jumlah besar. Mitigasi energi akibat penggunaan material yang besar ini diharapkan dapat dilakukan melalui pengukuran nilai EE. Metode penelitian yang digunakan adalah metode perhitungan nilai EE material perumahan sederhana serta analisis data secara kuantitatif, sehingga diketahui nilai EE yang signifikan dihasilkan oleh jenis pekerjaan tertentu, yang hasilnya digunakan untuk merumuskan usulan mitigasi. Hasil perhitungan EE material pada tipe-tipe perumahan sederhana menunjukkan bahwa komponen bangunan dengan nilai EE terbesar adalah pada pekerjaan dinding (35%-45%) dan pekerjaan atap bangunan (46%-48%). Berdasarkan hal itu, maka kedua item pekerjaan tersebut akan menjadi fokus mitigasi, melalui upaya penurunan nilai EE material yang tinggi melalui perencanaan desain dan usulan substitusi material. Kunci keberhasilan dari kedua mitigasi energi tersebut ada pada efisiensi penggunaan volume material dan penggunaan material alternatif dengan nilai EE rendah yang dipilih untuk substitusi.

Kata-kunci : *embodied energy*, mitigasi, reduksi energi, material bangunan, rumah sederhana, perumahan

Abstract

Building lifecycle consists of some energy-intensive stages. Energy used in the making of materials and/or involved in building construction processes is called Embodied Energy (EE). Moreover, since the main source of energy in Indonesia is fossil fuel, the EE value is related to Carbon Emission (CE) of the materials or processes. This paper aims to calculate the EE, and thus (CE) value of typical low-cost housing in Indonesia to mitigate the environmental impact of the massive Indonesian low-cost housing development. This environmental impact mitigation is expected to be implemented as early as possible in the building lifecycle. This research employs quantitative analysis of the EE calculation results. The EE calculation method breaks down the Indonesia typical low-cost house into materials used in every building components. Then, based on the individual EE of the materials, the total EE value of the components as well as the whole building are obtained. The results show that for Indonesia typical low-cost house, roof and wall contribute to 46-48% and 35-45% to the total EE of the building. Thus, a mitigation plan of the environmental impact should focus on reducing these components' embodied energy. Detailed analysis on the results reveal that, the large amount of the EE comes from the non-energy-efficient materials used in those components. Hence, one of the strategy to reduce the EE value is by substituting the common material with the lower EE materials for the roof and wall components.

Keywords : *embodied energy, mitigationenergy reduction, building materials, low-cost housing, housing*

Kontak Penulis

Yuni Sri Wahyuni

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah, Sukabumi. Jl. R. Syamsudin No. 50, Cikole, Sukabumi, Cikole, Kota Sukabumi, Jawa Barat 43113

E-mail : yuni.cip@gmail.com

Informasi Artikel

Diterima editor 1 Agustus 2016. Disetujui untuk diterbitkan 5 Desember 2016

ISSN 2301-9247 | E-ISSN 2622-0954 | <https://jlbi.iplbi.or.id/> | © Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI)

Pendahuluan

Pemerintah dan masyarakat Indonesia berupaya memenuhi kebutuhan perumahan rakyat dengan beragam cara. Demikian pula pengadaan perumahan rakyat yang dikenal sebagai program satu juta rumah. Program ini bagian dari kebijakan pengadaan perumahan dan permukiman untuk memenuhi kebutuhan rumah yang masih tinggi. Tahun 2015 pemerintah dan swasta baru dapat membangun rumah baru dalam capaian angka 600 ribu. Sedangkan *backlog* kebutuhan rumah hingga tahun 2013 saja telah mencapai 13,2 juta unit rumah (REI, 2013).

Oleh karena itu, pemerintah dan pihak swasta telah melakukan berbagai upaya dalam pemenuhan kebutuhan tersebut, baik perumahan berupa rumah susun (rusun) berlantai banyak maupun rumah tapak. Prioritas pembangunan rusun dilakukan di perkotaan, dimana kondisi kebutuhan rumah yang tinggi dan ketersediaan lahan yang terbatas. Sedangkan pembangunan jenis rumah tapak berkembang pesat di daerah sub urban. Kecenderungannya pembangunan tipe rumah tapak ini masih mendominasi hampir di seluruh wilayah Indonesia (Kemenpera-PU, 2013)

Perumahan sederhana menjadi contoh pembangunan hunian dengan ciri pembangunan massal, dibangun secara terus menerus dan memunculkan kebutuhan pengadaan material bangunan dalam volume yang besar. Pengadaan material bangunan yang cukup besar dan terus menerus tersebut apabila dilakukan tanpa pertimbangan lingkungan akan dapat menghabiskan sumberdaya alam dan memberikan dampak terhadap lingkungan (Chang, 2010).

Dampak lingkungan yang pasti terjadi adalah berlangsungnya eksploitasi sumberdaya alam dan penggunaan energi untuk kegiatan pembangunan, baik secara total maupun bila ditinjau secara parsial setiap tahapan dalam suatu siklus bangunan (Thormark, 2010).

Siklus bangunan keseluruhan (*total building lifecycle*) umumnya terdiri dari tahapan pra-konstruksi, konstruksi, operasional, *maintenance/operation* dan *demolition*. Setiap tahapan dalam siklus bangunan ini terdiri dari berbagai aktivitas, yang memerlukan energi. Maka perhitungan energi yang mendukung dan menyertai seluruh aktivitas dalam rangkaian siklus bangunan sangat diperlukan, sehingga dapat dijadikan sebagai dasar pertimbangan dalam melakukan upaya-upaya mitigasi penggunaan energi yang sangat besar.

Penelitian mengenai energi pada bangunan selama ini, lebih fokus pada penggunaan energi pada tahapan konstruksi dan operasional. Fokus penelitian pada umumnya adalah bagaimana melakukan rekayasa agar tingkat penggunaan energi pada kedua tahapan tersebut

dapat diturunkan. Fokus penelitian yang dipaparkan dalam paper ini bertujuan untuk melakukan penurunan konsumsi energi sejak pemilihan material, yang dilakukan pada tahap perencanaan. Tujuannya untuk mengetahui besaran energi pada setiap material yang akan sehingga dapat dikenali potensi untuk menurunkan tingkat konsumsi energi yang efisien (Wahyuni, 2013).

Energi menyertai setiap aktivitas pada tahapan pembangunan, karena energi tersebut terkandung dalam aktivitas pembangunan baik langsung maupun tidak langsung, energi yang menyertai ini disebut sebagai *Embodied Energy (EE)* (canadianarchitects, 2013).

EE menjadi indikator terukur untuk besaran nilai energi yang dikonsumsi dalam tahapan pembangunan. Besaran nilai *EE* secara kuantitatif ini akan lebih mudah dipahami oleh semua pihak sebagai acuan yang terukur, dan mudah dibaca. Acuan tersebut diharapkan dapat digunakan menjadi tolok ukur dalam upaya mengambil tindakan menurunkan nilai konsumsi energi ke level yang lebih rendah (Anonym, 2014).

Mengingat upaya pemenuhan kebutuhan perumahan sederhana yang sangat besar, hasil rekomendasi upaya mitigasi penggunaan energiyang akan dipaparkan dalam paper ini, diharapkan akan memberikan dampak yang cukup besar bagi perubahan cara pandang para stakeholder yang terlibat pada proses pembangunan sehingga lebih ramah lingkungan dan aktif dalam upaya penurunan konsumsi energi dan penurunan emisi karbon dalam setiap tahapan pembangunan.

Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah metode gabungan kuantitatif dan kualitatif. Metode secara rinci menyesuaikan dengan kerangka penelitian yang terdiri atas beberapa tahapan kegiatan.

Adapun kegiatan yang dimaksud yaitu ; 1) Penetapan objek rumah sederhana yang akan menjadi kasus model perhitungan nilai *EE* yang dilakukan melalui studi literatur dan pengamatan lapangan secara kualitatif, 2) Penentuan metode perhitungan nilai *EE* material pada bangunan, melalui evaluasi berbagai metode perhitungan yang telah ada, yang dilanjutkan dengan perhitungan nilai *EE* secara kuantitatif atas model kasus yang telah ditetapkan, 3) Perumusan usulan jenis mitigasi energi yang perlu dilakukan, melalui analisis hasil perhitungan dan kemungkinan upaya mitigasi yang akan dilakukan

Penetapan Objek Penelitian

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, objek penelitian ini akan digunakan sebagai tipe unit bangunan yang akan dihitung nilai *EE* atas objek tersebut. Penetapan objek ini ditentukan berdasarkan analisis hasil pengamatan

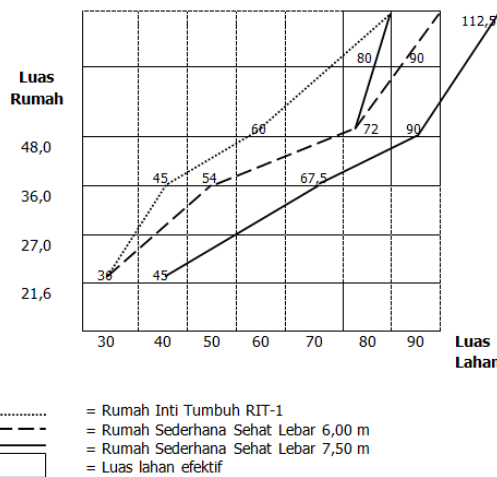
lapangan dan studi literatur terkait tipe-tipe unit rumah sederhana yang umumnya dibangun dalam kompleks perumahan saat ini. Kementerian Perumahan dan Prasarana Wilayah (2002) menyatakan bahwa rumah sederhana sehat merujuk ketentuan berdasarkan perhitungan standar ruang minimal per jiwa (m^2). Dimana rumah sederhana telah ditentukan untuk dihuni sekitar 3 sampai dengan 4 jiwa. Table 1 berikut menunjukkan luasan rumah sebagai tipe satuan unit dalam rumah sederhana.

Tabel 1. Kebutuhan Luas Minimum bangunan untuk Rumah Sederhana Sehat (Rs Sehat)

Standar per jiwa (m^2)	Luas unit rumah (m^2) untuk 3 jiwa	Luas unit rumah (m^2) untuk 4 jiwa
Ambang Batas Minimum 7,2	21,6	28,8
Standar Indonesia 9,0	27,0	36,0
Standar Internasional 12,0	36,0	48,0

Sumber : (Kimpraswil, 2002)

Undang-undang No.1 Tahun 2011 tentang Perumahan dan Permukiman kemudian mengeluarkan larangan pembangunan rumah tipe 21 karena dianggap tidak akan memenuhi standar kebutuhan keluarga, seperti pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Luas bangunan rumah sederhana yang efektif berdasarkan jumlah jiwa, dengan pertimbangan lebar muka dan pertimbangan kemudahan pada tahap pengembangan berikutnya. Sumber : (Kimpraswil, 2002)

Larangan ini kemudian dianulir Mahkamah Konstitusi pada tanggal 03 Oktober 2012 atas gugatan masyarakat yang menyatakan bahwa tidak boleh terjadi larangan membangun unit rumah dibawah tipe 36. Hal ini untuk memenuhi rasa adil masyarakat yang berpenghasilan rendah (MBR).

Fakta lapangan menunjukkan bahwa developer berusaha mematuhi aturan yang telah ada, namun permintaan konsumen mendorong developer tetap membangun tipe

rumah 21 yang harganya terjangkau MBR. Hasil pengamatan tipologi bangunan rumah sederhana yang dibangun developer, mulai dari wilayah Aceh sampai Papua menunjukkan tipologi yang tidak jauh berbeda dalam hal ; luas lantai, model tampak dan pemilihan material bangunan yang digunakan.

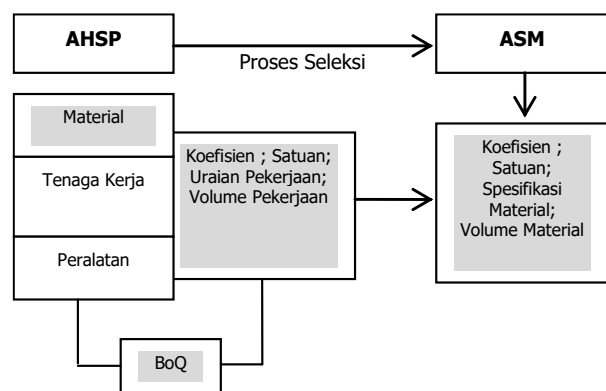
Pemeriksaan silang antara penyedia perumahan/developer dengan masyarakat selaku konsumen menunjukkan adanya sebutan tipe rumah sederhana yang dikenal secara umum yaitu tipe 21, 36 dan 45. Meskipun hasil pengamatan menunjukkan bahwa unit tipe 21 ditawarkan beragam dalam ukuran $26 m^2$, $27 m^2$, atau $29 m^2$. Sedangkan tipe 45 m^2 bila diukur secara presisi, jarang yang mencapai ukuran pas melainkan rata-rata dengan ukuran $46 m^2$ sampai dengan $48 m^2$.

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis literature terhadap aturan pembangunan rumah sederhana, ditetapkan objek penelitian yang akan diukur nilai EE, adalah rumah sederhana dengan tipe 21, 36, dan 45. Atas penetapan ini dibuat model umum untuk keperluan perhitungan berdasarkan kesamaan pada hasil studi di lapangan mengenai ; luas lantai unit, bentuk tampak, serta penggunaan material bangunan yang hampir seragam.

Perhitungan Nilai EE Material

Dasar perhitungan nilai EE yang digunakan adalah model perhitungan satuan material tunggal yang memerlukan kesamaan dalam satuan perhitungan sesuai satuan EE yakni MJ/Kg.

Metode perhitungan EE material menggunakan Analisis Satuan Material (ASM) yang merupakan hasil pengembangan metode perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang biasa digunakan di Indonesia untuk menghitung uraian dan volume pekerjaan berdasarkan komponen pekerjaan secara rinci. Seperti yang dijelaskan pada Gambar 1.



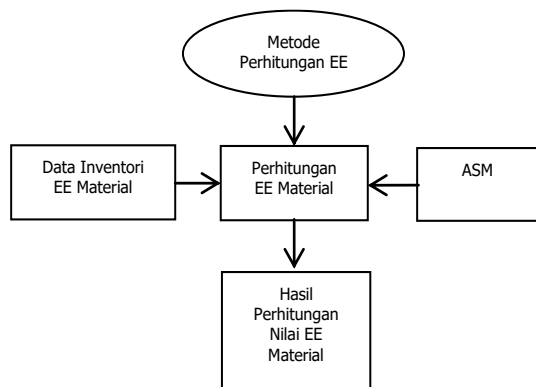
Gambar 2. Analisis Satuan Material (ASM) (Wahyuni, et al, 2015)

Perhitungan ini menjadi dasar dalam menetapkan volume pekerjaan, harga satuan pekerjaan, jadwal pekerjaan dan lainnya. Pedoman AHSP ini yang diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) (Tim, 2010). ASM ini menyeleksi komponen perhitungan pekerjaan dalam AHSP sehingga hanya memperhitungkan komponen material saja yang terdiri ; 1) koefisien, 2) uraian jenis material, 3) satuan material, 4) volume material perencanaan. Seperti contoh yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Komponen dalam Analisis Satuan Material (ASM) untuk contoh perhitungan komponen pekerjaan dinding per m²

Koefisien	Satuan-an	Jenis Material	Volume Material
70	Buah	Baa Merah	Sesuai tipe unit bangunan
18,95	Kg	Semen	
0.038	m ²	Pasir pasang	

Perbedaan satuan dari material bangunan yang dihitung harus dikonversi seluruhnya ke kilogram (kg). Agar mudah dihitung dengan satuan energi material berikutnya dalam satuan MJ/kg. Setelah itu dilakukan perhitungan akhir volume material yang digunakan untuk kemudian dirujuk ke data inventori material yang telah memiliki nilai EE material dalam satuan EE = MJ/Kg. Sehingga diperoleh nilai EE material per jenis material maupun total keseluruhan bangunan per unit. Seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 3. Metode Perhitungan EE material (Wahyuni, et al, 2015)

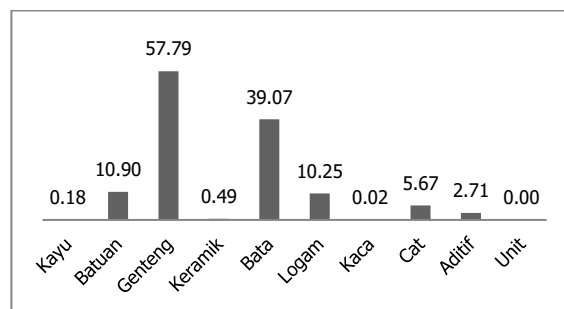
Metode ASM yang digunakan belum dapat menghasilkan nilai EE material yang valid tanpa dukungan database nilai EE material yang disusun pada suatu Data Inventori EE Material. Database ini disusun secara cermat dan mencakup informasi tentang nilai EE material satuan yang valid, terkini serta terus diperbaharui secara berkala.

Ada beberapa sumber yang memuat database nilai EE material di dalamnya. Namun dalam perhitungan EE material ini merujuk kepada database yang diterbitkan

oleh Bath University, United Kingdom yang disebut sebagai *Inventory Carbon and Energy (ICE)* version 2.0 disusun oleh Graham et. al tahun 2011. Alasan penggunaan ICE ini, karena ICE datanya cukup lengkap, diperbaharui secara berkala, menunjukkan sumber angka pada nilai EE material-nya, serta ICE ini merupakan database yang paling banyak digunakan di dunia untuk keperluan data inventori EE material. Idealnya database ini disusun berdasarkan pada kondisi negara masing-masing sehingga mendekati kondisi riil mengenai proses perhitungan EE material sampai diperolehnya angka tersebut per jenis material dalam database (Graham et al, 2011).

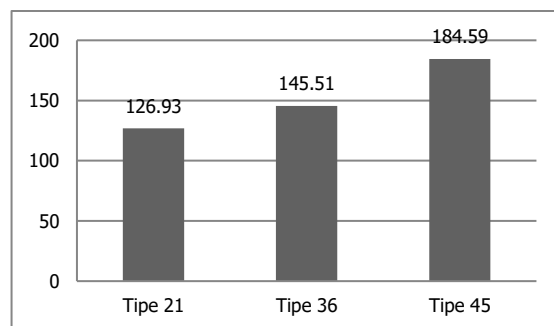
Data Penelitian

Perhitungan nilai EE material dengan ASM pada penelitian sebelumnya menghasilkan data adanya 47 jenis material yang digunakan oleh tipe-tipe rumah sederhana. Terdapat 10 jenis material yang memiliki nilai EE material tertinggi seperti pada gambar 3.



Gambar 4. 10 material dengan nilai EE tertinggi pada unit rumah sederhana (EE=MJ/Kg)

Hasil perhitungan EE material semua tipe secara umum menunjukkan bahwa semakin besar tipe rumah yang diukur semakin tinggi nilai EE material total yang diperoleh. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 5. Perbandingan nilai EE material total antar tipe (EE=MJ/Kg)

Besaran nilai *EE* material pada perumahan sederhana secara angka berdasarkan komponen bangunan antar semua tipe dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan nilai *EE* material total antar tipe berdasarkan komponen bangunan (satuan *EE* = MJ/Kg)

Uraian	Tipe 21	Tipe 36	Tipe 45
Persiapan	0,80	1,62	2,17
Pondasi	10,81	14,43	21,25
Dinding	52,79	55,20	65,72
Atap	58,06	69,73	89,30
Lantai	0,59	0,65	0,86
Utilitas	3,88	3,88	5,28

Berdasarkan komponen bangunan bahwa nilai *EE* material yang paling tinggi pada semua tipe bangunan ditunjukkan oleh penggunaan komponen dinding (35-45%) dan atap (46-48%). Hal ini sesuai dengan gambar 3 tentang material yang memiliki *EE* paling tinggi adalah bata (39,07%) dan genteng keramik (57,79%).

Analisis dan Interpretasi Data

Gambar 4 menunjukkan bahwa kenaikan nilai *EE* material total berdasarkan luas bangunan antar unit bangunan dengan kenaikan nilai *EE* material total, meskipun demikian kenaikannya bersifat linier. Gambarnya adalah bila kita membangun 2 unit tipe 21 (126,93 MJ/Kg), maka luas bangunan menjadi 42 m² dan nilai *EE* material secara total akan meningkat menjadi 253,86 MJ/kg. Sedangkan membangun 1 unit tipe 45 membutuhkan *EE* material sebesar 184,59 MJ/Kg. Artinya membangun tipe 21 dalam jumlah massal berakibat pada nilai total *EE* material yang diperlukan sangat besar dibandingkan dengan membangun dengan total luas yang sama namun menggunakan tipe 45. Hal ini diakibatkan banyaknya volume material untuk dinding pembatas ruangan sehingga menjadi penyebab tingginya nilai *EE* material dari pembangunan beberapa tipe 21 dibanding tipe 45.

Mitigasi Energi Melalui Pendekatan Desain

Aktivitas pembangunan yang banyak mengkonsumsi energi selama ini turut menyumbang peningkatan emisi karbon. Dampaknya adalah menghangatnya temperatur bumi atau disebut efek rumah kaca (*greenhouse effect*) Bangunan berkontribusi terhadap kondisi ini karena keberadaannya melalui proses konsumsi energi dunia yang mencapai 40% (Karyono, 2010).. Dengan sendirinya bangunan menyumbang sekitar 40% pula emisi karbon secara global (US Worlds Energy, 2010).

Kondisi ini mendorong negara-negara di dunia untuk mulai menerapkan Mekanisme Pembangunan Bersih

sebagai implementasi kesepakatan dalam menurunkan emisi karbon di tingkat global. Termasuk Indonesia yang merumuskan kebijakan pengelolaan energi dalam mengendalikan pemanasan global Secara umum kebijakan tersebut mengacu kepada inventori dan mitigasi. (Sugiyono, 2006).

Khusus bidang bangunan ada kebijakan pengelolaan energi tersebut meliputi ; 1) Perencanaan Gedung Hemat Energi, 2) Perencanaan Kota Terpadu. Aspek-aspek pendukung implementasi ini sudah diwujudkan dalam bentuk standar-standar pembangunan fisik gedung yang hemat energi dan ramah lingkungan. (SNI, 2010).

Mitigasi yang dimaksud adalah bagaimana bangunan diupayakan berada pada level rendah dalam konsumsi energi pada aktivitas pembangunan dan tahapan siklus bangunan. (Sugiyono, 2006).

Upaya mitigasi idealnya dirumuskan secara komprehensif dan menjadi tanggung jawab multipihak sesuai peranannya. Namun satu sisi pendekatan sudah bisa menjadi upaya mitigasi tersendiri. Misalnya aspek pendekatan teknologi seperti pendekatan melalui *EE* untuk upaya mitigasi energi.

Sehubungan dengan permintaan akan tipe 21 unit rumah sederhana terus muncul meski memiliki hasil perhitungan nilai *EE* menunjukkan potensi menghasilkan nilai *EE* material yang tinggi. maka diperlukan upaya mitigasi atas keadaan ini. Developer dan konsumen ingin mempertahankan pembangunan unit rumah sederhana tipe 21 tersebut, sehingga perlu adanya pengendalian penggunaan material khususnya material dengan penggunaan volume dan nilai *EE* yang tinggi. Pada bangunan sederhana sesuai hasil identifikasi yaitu pada komponen dinding dan atap. Desain unit rumah sederhana umumnya telah memperhitungkan penggunaan volume material pada dinding yang efisien. Namun tipe-tipe kecil seperti 21 yang terbangun menimbulkan kebutuhan adanya dinding pembatas antar unit menjadi ganda.

Desain unit rumah sederhana yang menarik kerap memunculkan adanya ornamen dan tambahan material untuk penunjang estetika, khususnya untuk dinding dan atap sebagai selubung bangunan. Penambahan material-material penutup bangunan yang sifatnya ornamen dan tidak fungsional ini merupakan faktor kedua timbulnya nilai *EE* material yang tinggi. Material penutup yang estetis dihitung sebagai bagian material komponen bangunan yang menyumbang nilai *EE* materialnya sendiri.

Untuk menurunkan nilai *EE* dari bangunan dapat dilakukan dengan *redesign* unit rumah sederhana dengan tujuan tercapainya penggunaan volume material yang lebih efisien sehingga nilai *EE* material bangunan juga akan dapat dikurangi. Upaya yang dapat dilakukan antara lain; 1) membangun sistem rumah kopel tipe 21 sehingga

menyerupai bangunan tipe 45, 2) mengurangi penggunaan material genteng dan bata yang memiliki volume material yang besar serta memiliki nilai *EE* material yang tinggi, 3) mengusulkan material substitusi yang lebih ramah lingkungan, seperti material batako, atau material GRC dan kalsiboard untuk dinding interior, 4) dan lain-lain

Mitigasi Energi Melalui Substitusi Material

Sebagaimana telah diuraikan, pengurangan nilai *EE* material dalam mitigasi energi di luar aspek perubahan desain, salah satunya adalah melalui penggantian material bangunan yang tinggi nilai *EE* materialnya dengan material lain yang rendah *EE*. Berikut ini simulasi substitusi material yang menunjukkan adanya penurunan (selisih) nilai *EE* material dari jenis material yang digunakan pada awal perencanaan (model umum) dibandingkan dengan nilai *EE* material seperti yang ditampilkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Simulasi perhitungan atas substitusi material awal dengan material rendah *EE* pada komponen dinding

No	Material	Nilai <i>EE</i> Material total = MJ/Kg		
		Tipe 21	Tipe 36	Tipe 45
1	Dinding bata + penutup atap genteng kkeramik (model umum)	126,94	145,51	184,59
2	Substitusi material dinding oleh batako (<i>EE</i> batako < dari <i>EE</i> bata)	98,29	116,1	150,57
3	Substitusi material oleh baako + zinalum	117,25	138,88	179,25

Tabel 4 diatas menunjukkan hasil simulasi substitusi material bangunan terhadap material dinding bata dan atap genteng sebagai material awal (model umum), lebih rendah nilai *EE* nya, atau terjadi penurunan nilai *EE* material. Tabel 4 diatas menunjukkan dinding bata (*EE* = 3 MJ/Kg) diganti dengan dengan batako (*EE* = 2 MJ/Kg) hasilnya terjadi penurunan nilai *EE* material dengan volume cukup signifikan.

Penurunan dan kenaikan nilai *EE* material hasil substitusi terhadap komponen dinding dan atap ini menunjukkan bahwa tanpa perubahan volume, maka pemilihan jenis material substitusi akan sangat menentukan nilai *EE* material yang akan dihasilkan. Oleh karena pengembangan Data Inventori *EE* Material dengan nilai *EE* rendah sangat penting dilakukan agar pelaku yang terlibat dalam pembangunan dapat memilih material yang rendah *EE* yang tepat.

Pada mitigasi energi yang diusulkan, kunci keberhasilan terletak pada pengendalian penggunaan volume material untuk mengendalikan kebutuhan energi produksi material yang efisien, yang dilakukan sejak tahap perencanaan atau

desain bangunan. Mitigasi energi bangunan pada tahapan ini menjadi penentu efisiensi konsumsi energi dan mencegah timbulnya dampak kerusakan lingkungan yang lebih besar. Pengendalian ini berusaha mencegah penggunaan material yang memiliki nilai *EE* yang tinggi, serta mempertimbangkan desain bangunan yang lebih efisien dalam penggunaan material.

Kesimpulan

Tahapan perencanaan dan desain sangat menentukan dalam mewujudkan bangunan hemat energi, hal ini menjadi bagian dari mitigasi energi yang terkait dengan nilai energi material, sehingga tahapan ini disebut pula sebagai *craddle to the gate*. Perhitungan *EE* material bangunan pada tahapan ini sangat penting dilakukan sebagai dasar merumuskan usulan mitigasi dampak atas penggunaan energi pada pembangunan perumahan sederhana.

Hasil perhitungan nilai *EE* material pada unit rumah sederhana yang dimaksud menunjukkan adanya kenaikan secara linier berdasarkan tipe unit rumah sederhana, meskipun demikian kenaikannya tidak berbanding lurus dengan kenaikan luasan ; tipe 21 (126,94 MJ/kg), tipe 36 (145,51 MJ/Kg) dan tipe 45 (184,59 MJ/Kg). Hal ini disebabkan oleh bertambahnya luas lantai tipe secara otomatis menambah volume material yang digunakan sehingga menghasilkan kenaikan nilai *EE* material. Komponen dinding dan atap menjadi komponen yang menyumbang kenaikan nilai *EE* material secara signifikan berdasarkan penambahan volume material.

Upaya menurunkan nilai *EE* material merupakan upaya mitigasi dampak penggunaan energi, mengingat bangunan rumah sederhana dibangun dalam jumlah yang sangat besar (hingga kurang lebih 600.000 unit pertahun di Indonesia). Mitigasi ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya yang dapat dilakukan dengan dua berikut ; Pertama, mitigasi energi melalui *re-design* bangunan yang merupakan cara untuk melakukan efisiensi penggunaan volume material, dimana perubahan desain ditujukan untuk mengurangi volume material yang akan digunakan sehingga nilai *EE* material akan menurun. Di antaranya dengan perubahan layout atau pembangunan desain untuk rumah Tipe 21

Kedua, Mitigasi energi melalui substitusi material. Penurunan nilai *EE* material dapat diperoleh dengan substitusi material rendah *EE*. Simulasi dapat dilakukan beberapa material. Misalnya substitusi material bata dengan batako serta substitusi material genteng dengan zinalum, ketika digabungkan menghasilkan adanya penurunan nilai *EE* material sebagai selisih sebesar tipe 21 (9,69 MJ/kg), tipe 36 (6,63 MJ/kg), tipe 45 (5,34 Mj/Kg). Melalui perhitungan *EE* material ini akan dapat diperoleh nilai *EE* material optimal berdasarkan pilihan jenis material substitusi yang digunakan.

Maka *EE* material secara satuan maupun total perlu dihitung secara cermat bukan hanya untuk mendapatkan *EE* material yang efisien namun sekaligus menekan potensi dampak lingkungan yang terjadi pada tahap perencanaan bangunan, sehingga upaya mitigasi energi yang efektif dapat dicapai.

Ucapan terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian ini yakni LPPM-ITB dan dukungan dari *Green Building Research Centre (GBRC)*-ITB.

Daftar Pustaka

- Anonym. (2014). Methodology to the CO₂ Calculations : Embodied Energy of Single Material Type. *Sustainable Geosystem in Civil Engineering Application*.
- Chang, Yuan, Robert J. Ries, Yaowu Wang. (2010). The embodied energy and environmental emissions of construction projects in China: An economic input-output LCA model. *Energy and Building* 39 pp 6321-6330.
- Graham, et al. (2011). *Inventory Carbon and Energy version 2.0*. United Kingdom : Bath University.
- Karyono, Tri Harso, (2010). *Green Arsitektur : Pengantar Arsitektur Hijau di Indonesia*. Jakarta : Penerbit Rajawali Press.
- Kemenpera-PU. (2013). *Pengadaan Perumahan bagi Masyarakat Berpenghasilan Rendah*. Kemenpera - PU, Jakarta
- Keputusan Menteri Perumahan dan Prasarana Wilayah Nomor 403/KPTS/M/2002 tentang Pedoman Umum Rumah Sederhana Sehat (Rs Sehat) tanggal 02 Desember 2002.
- REI. (2013). *Annual Report*. Real Estate Indonesia. Jakarta.
- Sugiyono, Agus. (2006). Penanggulangan Pemanasan Global di Sektor Penggunaan Energi. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 7, 2, 15-19
- Thormark, Catarina. (2005). A Low Energy Building In A Life Cycle—Its Embodied Energy, Energy Need For Operation And Recycling Potential. *Building and Environment Journal*, 56, 2, www.elsevier.com/locate/rser
- Tim, 2010. *Analisis Harga Satuan Pekerjaan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Wahyuni, Yuni Sri. (2013). Kajian Embodied Energy dalam Riset Bidang Arsitektur. *Prosiding Seminar Doktor UMMI 2015*, 1, 72-82.
- Wahyuni, Yuni Sri. (2015). Model of Embodied Energy Calculation for Low Costing Housing in Indonesia. *Proceeding I-Dwell Architecture 2015, Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, 1, www.canadianarchitect.com/embodiedenergy. Diunduh tanggal 07 Oktober 2013
- www.energyworld.com/energyconsumption. Diunduh tanggal 07 Oktober 2013