

Analisis Konsumsi *Embodied Energy* dan *Embodied Carbon* pada Material Bangunan Rumah Sederhana Tipe 36

Subrata Aditama K.A.Uda*

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya,
Jl. Yos Sudarso, Komplek Tunjung Nyaho, Palangka Raya, Indonesia 73112

Abstrak

Sektor perumahan merupakan kebutuhan pokok bagi setiap orang. Setiap negara berupaya untuk memenuhi kebutuhan rumah bagi warganya, salah satunya di Indonesia yang memprogramkan satu juta rumah bagi masyarakat miskin. Dampak negatif dari program ini berupa eksploitasi lahan yang besar serta kerusakan lingkungan akibat pelaksanaan konstruksi. Material bangunan merupakan unsur utama dalam kegiatan konstruksi, dimana proses produksi material banyak mengkonsumsi energi dan menghasilkan karbon dioksida (CO_2). Pemilihan material yang ramah lingkungan akan menurunkan jumlah embodied energy dan embodied carbon selama siklus hidup bangunan. Penelitian ini menghitung jumlah embodied energy dan embodied carbon terhadap material bangunan yang digunakan pada bangunan rumah sederhana tipe 36 yang banyak di minati masyarakat Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan material batu bata, atap seng, semen dan kayu merupakan material dominan yang mengkonsumsi embodied energy lebih dari 70% serta menghasilkan embodied carbon sekitar 80% dari total energi. Total embodied energy pada material bangunan sebesar 127.714,66 MJ dengan karbon sebanyak 10.257,48 $KgCO_2$. Berdasarkan luas bangunan diperoleh embodied energy sebesar 3.547,63 MJ/m^2 dan karbon sebanyak 284,93 $KgCO_2/m^2$. Besarnya jumlah energi dan karbon yang dihasilkan oleh bangunan akan berdampak pada tingginya pencemaran lingkungan yang akan berkontribusi terhadap pemanasan global.

Kata kunci: pemanasan global; rumah sederhana; material bangunan; embodied energy; embodied carbon

Abstract

[Title: Embodied Energy and Embodied Carbon Consumption Analysis of 36-Type Simple House Building Materials] Housing is a basic necessity for everyone. Each country seeks to fulfill its citizens' housing needs. One of which is done by the Indonesian government, whose program is one million houses for the needy. The negative impact of this program is in the form of extensive land exploitation and environmental damage due to construction implementation. Building material is the main element in construction activities, where the material production process consumes much energy and produces carbon dioxide (CO_2). The choice of environmentally friendly material will reduce embodied energy and carbon during the building's life cycle. This study calculates the amount of embodied energy and embodied carbon on building materials used in the residential buildings of type 36 simple houses of great interest to Indonesian people. The results showed that Brick Stone, Zink Roof, Cement, and Timber materials are the dominant materials that consume more than 70% embodied energy and produce embodied carbon, around 80% of total energy. The total embodied energy in building materials is 127,714.66 MJ with carbon as much as 10,257.48 $KgCO_2$. Based on the building area, the embodied energy is 3,547.63 MJ/m^2 , and carbon is 284.93 $KgCO_2/m^2$. A large amount of energy and carbon produced by buildings will impact the high pollution of the environment, contributing to global warming.

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: subrataaditama@jts.upr.ac.id

Keywords: global warming; simple house; building material; embodied energy; embodied carbon

1. Pendahuluan

Persetujuan Paris merupakan perjanjian internasional tentang perubahan iklim yang bertujuan untuk menahan kenaikan suhu rata-rata global di bawah 2°C di atas tingkat di masa pra-industrialisasi dan melanjutkan upaya untuk menekan kenaikan suhu ke 1,5°C di atas tingkat pra-industrialisasi (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015). Industri konstruksi merupakan salah satu industri yang mengkonsumsi 36% energi serta menghasilkan 39% emisi karbon dioksida (CO₂). 11% diantaranya berasal dari proses produksi material seperti baja, semen dan kaca (United Nation Environment Programme, 2019). Dalam upaya menekan dampak negatif dari kegiatan konstruksi diperlukan konsep metode konstruksi yang mengutamakan kelestarian lingkungan sehingga dapat menekan jumlah pencemaran terutama gas emisi CO₂. Metode *Green building* merupakan suatu konsep pembangunan yang mengarah pada struktur dan pemakaian proses yang memperhatikan lingkungan dan hemat sumber daya sepanjang siklus hidup bangunan tersebut, mulai dari pemilihan tempat sampai desain konstruksi, operasi, perawatan, renovasi, dan pembongkaran bangunan. Metode ini mencakup efisiensi penggunaan material, energi, dan peningkatan kualitas udara di dalam ruangan (Ragheb dkk.,2016). Pencapaian *Green Building* pada bangunan baru diukur berdasarkan 6 kategori yaitu tata guna lahan yang tepat (16,8%), efisiensi dan konservasi energi (25,7%), konservasi air (20,8%), sumber dan siklus material (13,9%), kesehatan dan kenyamanan dalam ruang (9,9%), manajemen lingkungan bangunan (12,9%). Efisiensi dan konservasi energi memiliki poin terbesar untuk *Greenship*. Dalam pencapaian tersebut perlu mempertimbangkan tiga elemen utama yaitu *Life Cycle Assessment* (LCA), efisiensi desain struktur, efisiensi energi (Green Building Council Indonesia,2013).

Konsep *green building* tidak hanya diterapkan pada bangunan gedung, tetapi juga pada bangunan perumahan. Sektor perumahan merupakan salah satu bangunan konstruksi yang paling banyak menghasilkan *embodied energy* dan karbon. Berdasarkan data *United States Environmental Protection Agency* menyebutkan bahwa jumlah gas emisi pada sektor perumahan dan komersil sebesar 13%, lebih besar dibandingkan sektor pertanian (Environmental Protection Agency, 2019). Sedangkan penelitian lain menyebutkan bahwa jumlah gas emisi yang dihasilkan dari sektor perumahan di Spanyol sebanyak 32.000 ton dan konsumsi energi sebesar 140 GWh (Sáez dkk.,2020). Penelitian tentang *embodied emission* pada konstruksi perumahan di Australia menempati urutan kedua sebesar 14,6%, sedangkan terbesar ada pada jasa konstruksi sebesar 54,8% (Yu dkk., 2017). Penelitian di Indonesia menunjukkan jumlah konsumsi energi pada sektor

perumahan di wilayah jakarta sebesar 20,6 GJ lebih besar 5 GJ dibandingkan konsumsi energi di wilayah Bandung (Surahman dkk.,2015).

Salah satu upaya pemerintah Indonesia dalam memenuhi kebutuhan rumah masyarakat dengan melaksanakan Program Satu Juta Rumah. Data Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menyatakan capaian pembangunan rumah selama lima tahun mulai 2015 hingga 2019 berjumlah 4.800.170 unit rumah. Adapun proporsi pembangunan rumah yang ditetapkan oleh pemerintah adalah 70 persen untuk masyarakat berpenghasilan rendah (MBR) dan sisanya sebanyak 30 persen untuk non MBR (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020). Banyaknya perumahan yang dibangun akan membutuhkan lahan yang besar, sehingga dampak lingkungan akan semakin tinggi. Komitmen pemerintah sebagai Stakeholder memiliki peran penting dalam upaya menurunkan jumlah *embodied energy* dan emisi pada sektor konstruksi (Uda dkk, 2021).

Untuk itu perlu adanya upaya dalam meminimalisasi pengaruh lingkungan termasuk energi dan karbon yang dihasilkan dari kegiatan pembangunan perumahan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung jumlah *embodied energy* dan karbon pada material yang digunakan pada bangunan rumah sederhana tipe 36. Dengan mengetahui jumlah energi dan emisi tersebut, maka akan mempermudah dalam memilih jenis material yang ramah lingkungan.

2. Bahan dan Metode

Energi dalam pekerjaan konstruksi terbagi dua yaitu *embodied energy* (energi terkandung) dan *operational energy* (energi yang digunakan selama masa umur bangunan). *Embodied energy* mulai terjadi mulia pada tahap produksi (*manufacturing*) khususnya material, tahap konstruksi dan tahap pembongkaran bangunan. *Operational energy* terjadi pada tahap bangunan digunakan serta saat kegiatan renovasi/perbaikan bangunan (Ramesh dkk., 2010). *Embodied energy* merupakan energi yang terdapat pada setiap aktivitas konstruksi baik secara langsung maupun tidak langsung baik terhadap material bangunan maupun peralatan yang digunakan saat proses konstruksi berlangsung (Dixit dkk., 2019). Pada siklus hidup bangunan besarnya konsumsi energi dan carbon emisi dipengaruhi oleh jumlah *embodied energy* dan *operational energy* yang terdapat pada struktur bangunan (Praseeda, dkk., 2016). Total *embodied energy* adalah jumlah total energi yang diwujudkan dari setiap elemen bangunan. *Embodied energy* per meter kuadrat bangunan diperoleh dari perbandingan antara total *embodied energy* dengan total luas lantai bangunan. Bangunan dengan luas lantai kecil tidak belum tentu memiliki nilai energi yang rendah, demikian juga pada bangunan dengan luas lantai yang

besar tidak selalu akan menghasilkan *embodied energy* yang besar pada tiap meter kuadrat bangunannya (Noerwasito, 2014).

Pemilihan material yang rendah konsumsi energi dan perencanaan rumah dengan mengutamakan efisiensi material akan berdampak pada penurunan jumlah energi. Peran stakeholder dalam menentukan jenis dan bentuk bangunan akan mempengaruhi secara langsung upaya efisiensi energi (Larasati, 2017). Perancangan arsitektur yang memperhatikan konsep karbon netral pada setiap aspek struktur bangunan akan mampu menurunkan jumlah karbon secara signifikan. Salah satunya dengan menerapkan teknik perencanaan selubung bangunan (*building envelope*) yang sumber pencahayaan alami (matahari) serta sistem sirkulasi udara yang mampu mengurangi besarnya penggunaan pendingin ruangan (La Roche, 2020). Total *embodied energy* pada bangunan rumah dihitung dengan menggabungkan semua konsumsi energi untuk pada material bangunan (energi produksi, pemeliharaan dan daur ulang) (Surahman dkk.,2015). *Embodied energy* merupakan energi yang selalu menyertai disetiap kegiatan konstruksi selama tahapan siklus hidup bangunan. Langkah sederhana dan efektif untuk mengurangi dampak lingkungan dari konstruksi adalah manajemen bahan yang bertanggung jawab pada tahap konstruksi (Hammond & Jones, 2008).

Pada artikel ini metode penelitian dilakukan dengan menghitung jumlah *embodied energy* dan karbon pada material yang digunakan dalam pembangunan rumah tipe 36. Pendekatan metode perhitungan jumlah *embodied energy* dan karbon dengan menggunakan data inventori dari ICE Bath University. Penelitian ini juga menggunakan sumber data sekunder berupa studi literatur yang diambil dari beberapa jurnal internasional

dengan teknik pengumpulan data purposive sampling yang memiliki topik penelitian dengan *embodied energy* dan karbon pada sektor konstruksi.

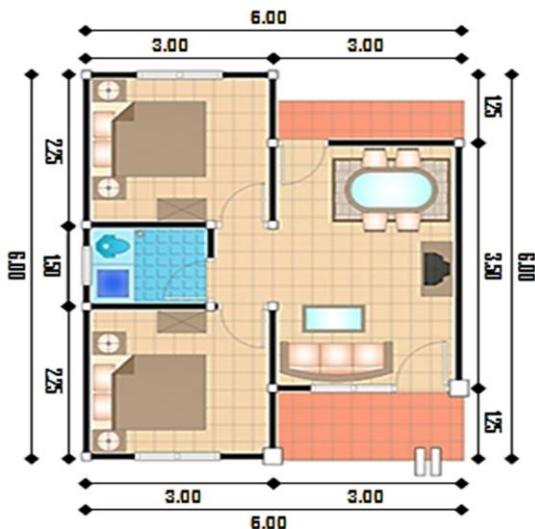
Tipe rumah yang digunakan adalah rumah sederhana sehat sesuai dengan program pemerintah, dimana rumah yang dibangun dengan menggunakan bahan bangunan dan konstruksi sederhana. Adapun studi kasus yang digunakan sebagai simulasi perhitungan *embodied energy* dan karbon yaitu bangunan rumah tipe 36 dengan luas bangunan 36 m². Denah bangunan rumah ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan gambar rencana atap di tunjukkan pada Gambar 2. Pada bangunan ini untuk ruang dapur tidak diperhitungkan sedangkan detail bangunan tidak ditampilkan namun tetap dihitung untuk semua material bangunan. Pondasi yang digunakan yaitu pondasi batu kali berbentuk trapesium dengan lebar atas 25 cm, lebar bawah 50 cm, dan tinggi 60 cm. Struktur kolom menggunakan ukuran 20x20 cm sedangkan balok/*sloof* berukuran 15x20 cm. Tinggi dinding yaitu 4 m dan ukuran pintu serta jendela masing-masing 90x200 cm dan 150x180 cm. Jumlah pintu dan jendela sesuai dengan gambar denah bangunan.

Tabel 1 merupakan pembagian ruangan pada denah bangunan yang sesuai dengan kebutuhan rumah sederhana yang disyaratkan oleh pemerintah. Perhitungan *embodied energy* dan *embodied carbon* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2 (Uda dkk., 2020).

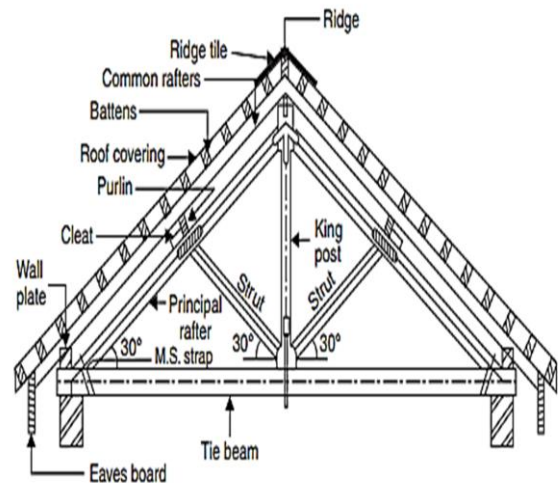
$$EE = V_m \times CEE \tag{1}$$

$$EC = V_m \times CEC \tag{2}$$

Dimana EE merupakan jumlah konsumsi *embodied*



Gambar 1. Denah bangunan rumah sederhana tipe 36



Gambar 2. Typical potongan rangka atap

energy (MJ) yang terdapat pada material, kemudian V_m adalah besaran volume material yang diperoleh berdasarkan hasil estimasi pada bangunan rumah. Volume dalam satuan M^3 terlebih dahulu dikonversi kesatuan Kg dengan cara volume tersebut dikalikan berat jenis material (Kg/M^3). Selanjutnya CEE merupakan *Coeffisient Embodied Energy* yang diperoleh dari data *inventory Bath University* dalam satuan (MJ/Kg). EC merupakan jumlah karbon yang terdapat pada material dengan satuan $KgCO_2$, sedangkan CEC merupakan *Coeffisient Embodied Carbon* yang juga diperoleh dari *data inventory Bath University* dalam satuan ($KgCO_2/Kg$). Pada penelitian ini tidak memperhitungkan besaran energi yang dihasilkan dari penggunaan alat atau aktivitas konstruksi. Tabel 2 menunjukkan Koefisien Energi berdasarkan data *inventory material* berdasarkan data dari *Bath University* (Hammond & Jones, 2008).

3. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan jumlah *embodied energy* dan *embodied carbon* dilakukan berdasarkan urutan kegiatan konstruksi meliputi konstruksi fondasi, kolom dan balok, lantai, dinding, atap dan pekerjaan pintu dan jendela. Untuk pekerjaan kelistrikan, plumbing air bersih dan kotor, serta asesoris kamar mandi tidak diperhitungkan. Selain itu transportasi dan distribusi meterial dari pabrik atau supllayer ke lokasi proyek juga tidak masuk dalam metode perhitungan. Hasil perhitungan *embodied energy* dan *embodied carbon* terdapat pada Tabel Lampiran 1.

3.1. Perhitungan Embodied energy (EE)

Hasil perhitungan *embodied energy* pada material bangunan ditunjukan pada Gambar 3. Material Batu bata memberikan kontribusi energi terbesar yaitu 23,47%, selanjutnya yang kedua yaitu atap seng sebesar 18,67% dan kemudian jenis material semen dan kayu sebanyak 15,10% dan 15,07%. Material kaca mengkonsumsi *embodied energy* terkecil sebesar 0,65% , selanjutnya material pasir dan kerikil sebesar 1,27% dan 1,36%, dan terakhir material batu, keramik tile dan besi dimana masing-masing material mengkonsumsi *embodied*

Tabel 1. Daftar ruangan bangunan rumah tipe 36

Nama Ruangan	Ukuran (m ²)	Jumlah
Luas Bangunan	36	-
Kamar Tidur	3,00 x 2,25	2
Ruang Tamu	3,50 x 3,00	1
Kamar	1,50 x 2,00	1
WC/KM		
Teras	3,00 x 1,25	1

energy sebesar 11,94%, 6,34% dan 5,62%.

Material batu bata mengkonsumsi energi tertinggi dari material lainnya. Hal ini disebabkan besarnya volume material batu bata yang digunakan sebagai material utama pada pekerjaan dinding. Berdasarkan penelitian Noerwarsito menyebutkan dari tiga jenis material yaitu bata, *conblock* dan batako ringan untuk pekerjaan *wall* pada bangunan apartemen, konsumsi *embodied energy* terbesar dihasilkan dari material batu bata sebesar 1,35 – 1,61 GJ/M^2 (Noerwasito,2014).

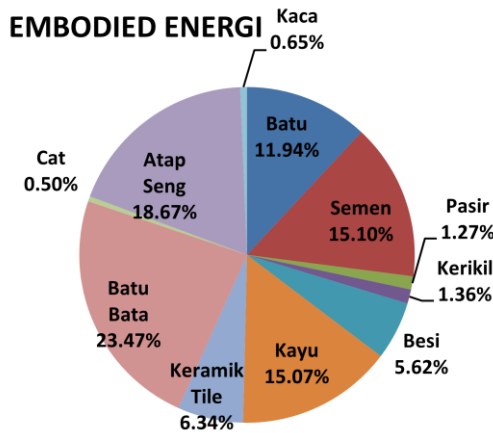
Penelitian lain menyebutkan dinding batu bata plester mengkonsumsi energi terbesar dibanding dinding *bamboo plester*, dimana jumlah *embodied energy* pada batu bata plester sebesar 440 MJ/m^2 sedangkan *bamboo plester* sebesar 230,61 MJ/m^2 (Jurizat & Ramadhan, 2020). Penggunaan Hollow CC block bata akan mereduksi *embodied energy* sebesar 40% dibandingkan dengan material batu bata pada bangunan perumahan (Deepak dkk.,2014). Material bata yang digunakan pada bangunan perumahan memiliki nilai *embodied energy* yang tinggi dibandingkan material *concrete* dan besi (Dimoudi & Tompa, 2008). Kombinasi material batu bata, atap seng, semen dan kayu merupakan material dominan yang mengkonsumsi *embodied energy* lebih dari 70% dari total energi pada material. Hal ini sesuai dengan penelitian yang menyebutkan material tersebut mengkonsumsi hampir 60% *embodied energy* (Hammond & Jones, 2008).

3.2. Perhitungan Embodied Carbon (EC)

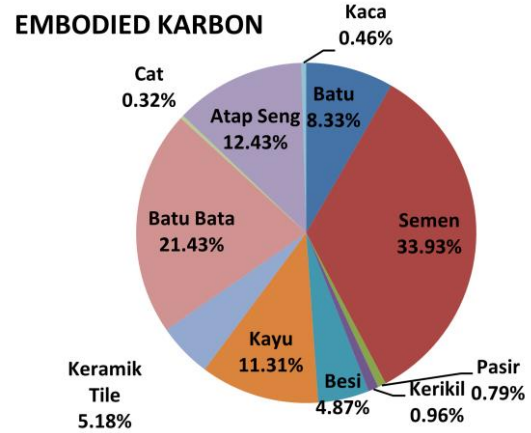
Gambar 4 menunjukkan persentase *embodied carbon* yang dihasilkan oleh masing-masing material. *Embodied carbon* terbesar berasal dari material semen sebesar 33,93%. Prosentase terbesar kedua dihasilkan oleh material batu bata sebesar 21,43% dan selanjutnya material atap seng dan kayu dengan masing-masing

Tabel 2. Data inventori koefisien energi material (Hammond & Jones, 2008)

Material	Embodied Energy (MJ/Kg)	Embodied Carbon (Kg.CO ₂ /Kg)
Batu Belah	1	0,056
Semen	4,6	0,83
Pasir	0,1	0,005
Kerikil	0,3	0,017
Besi	24,6	1,71
Kayu	7,4	0,45
Keramik Tile	9	0,59
Batu Bata	3	0,22
Cat	20,4	1,06
Atap Seng	61,9	3,31
Kaca	15	0,85
Plywood	15	0,81



Gambar 3. Persentasi embodied energy berdasarkan jenis material bangunan



Gambar 4. Persentasi embodied carbon berdasarkan jenis material bangunan

sebesar 12,43% dan 11,31%. Material batu, keramik Tile dan besi masing-masing menghasilkan embodied carbon sebesar 8,33%, 5,18% dan 4,87%. Material yang menghasilkan embodied energy dibawah 1% antara lain kerikil, pasir, kaca dan cat sebesar 0,96%, 0,79%, 0,46% dan 0,32%.

Material cement menghasilkan emisi terbesar dari material lainnya. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan material cement memberikan kontribusi yang besar terhadap pemanasan global. Penelitian Thiel mengatakan bahwa beton memberikan kontribusi rata-rata 73% terhadap dampak lingkungan pada pekerjaan galian dan pondasi bangunan gedung. Penggunaan semen sebagai material utama dalam penyusun beton perlu dikurangi dengan menambahkan flyash sebanyak 25% pada campuran beton akan memberikan penurunan emisi sebesar 14% - 22% (Thiel dkk., 2013). Penelitian lain menyebutkan bahwa semen dan beton mengkonsumsi sebesar 45% embodied energy dan karbon dari total material yang digunakan pada bangunan perumahan di China (Su & Zhang, 2016).

Rata-rata embodied carbon dari material beton pada bangunan mencapai 62% (Dimoudi & Tompa, 2008). Penelitian ini menunjukkan hampir 80% embodied carbon dihasilkan dari material semen, batu bata, atap seng dan kayu. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian Hammon menyebutkan bahwa material beton dan bata menyumbang embodied energy lebih dari 30% sedangkan embodied carbon mencapai diatas 50% dari total material pada bangunan (Hammond & Jones, 2008). Penggunaan material alam sebagai alternatif pengganti material semen, besi dan batu bata akan mampu mengurangi jumlah konsumsi energi dan emisi secara signifikan (Mali & Waghmare, 2016; Taffese & Abegaz, 2019).

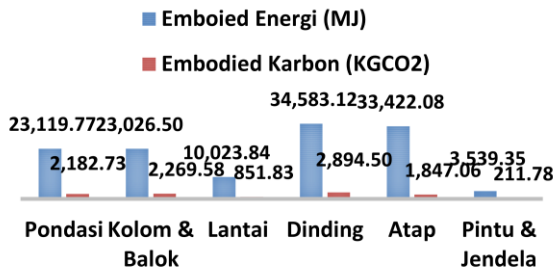
3.3. Embodied energy (EE) dan Karbon (EC) pada tiap tahapan konstruksi

Gambar 5 menunjukkan pekerjaan yang mengkonsumsi energi dan menghasilkan emisi terbesar yaitu pekerjaan dinding dengan nilai embodied energy (EE) sebesar 34.583,12 MJ dan embodied carbon (EC) sebesar 2.894,50 KgCO₂. Sedangkan pekerjaan yang paling sedikit mengkonsumsi energi dan karbon yaitu pekerjaan Pintu & Jendela sebesar 3.539,35 MJ dan 211,78 KgCO₂.

Pekerjaan pondasi menghasilkan energi (EE) sebesar 23.119,77 MJ dan karbon (EC) sebesar 2.182,73 KgCO₂, selanjutnya pekerjaan kolom dan balok menghasilkan EE dan EC sebesar 23.026,50 MJ dan 2.269,58 KgCO₂. Pada pekerjaan lantai diketahui jumlah EE sebesar 10.023,84 MJ dan EC sebesar 851,83 KgCO₂, selanjutnya pekerjaan atap mengkonsumsi energi sebesar 33.422,08 MJ dan karbon sebesar 1.847,06 KgCO₂. Kombinasi pekerjaan atap dan dinding mengkonsumsi embodied energy sebesar 53% dari total energi, sedangkan lebih dari 70% penghasil karbon dioksida berasal dari pekerjaan dinding; kolom dan Balok; dan Pondasi. Gambar 6 menunjukkan jumlah persentase terhadap total konsumsi energi dan karbon pada bangunan.

Total embodied energy yang dihasilkan dari seluruh aktivitas pembangunan rumah type 36 berdasarkan material bangunan sebesar 127.714,66 MJ dan menghasilkan karbon emisi sebanyak 10.257,48 KgCO₂. Berdasarkan per meter luas bangunan (36 m²) diperoleh EE sebesar 3.547,63 MJ dan EC sebanyak 284,93 KgCO₂. Hasil ini mendekati jumlah EE dan EC pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, seperti bangunan rumah di Inggris dengan luas bangunan 80 m² diperoleh jumlah EE dan EC sebesar 96 GJ dan 1,66 TCO₂ per-meter luas bangunan (Hammond & Jones,

JUMLAH ENERGI DAN EMISI MASING-MASING KOMPONEN

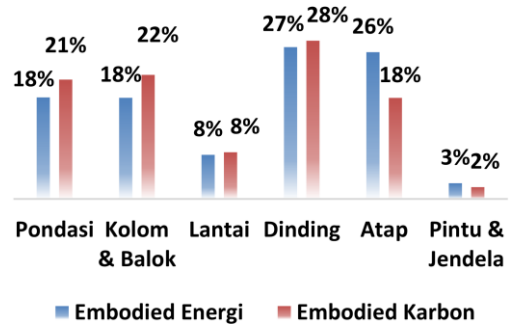


Gambar 5. Jumlah konsumsi energi dan karbon pada setiap komponen bangunan.

2008). Penelitian Dimoudi menemukan perbedaan jumlah EE dan EC pada dua bangunan dengan material yang berbeda pada bagian facades dan lantai. Bangunan 1 dengan luas 1.891 m² tanpa facades dan lantai menggunakan keramik tile menghasilkan EE dan EC sebesar 1,93 GJ/m² dan 199,84 KgCO₂/m², sedangkan bangunan 2 dengan luas 400 m² menggunakan facades dari aluminium yang dilapisi polyethylene dan lantai dengan material vinyl tile dan marbel menghasilkan energi 3,27 GJ/m² dan karbon 289,40 KgCO₂/m² (Dimoudi & Tompa, 2008). Bangunan rumah dua lantai di India rata-rata menghasilkan *embodied energy* 2,092 GJ/m² (Deepak dkk., 2014). Penelitan lain menyebutkan nilai rata-rata *embodied energy* pada bangunan rumah Tipe 36 sebesar 21.015 MJ/m², sedangkan rumah tipe 70 menghasilkan energi lebih kecil yaitu 18.416 MJ/m². Hal ini membuktikan bahwa luas lantai bangunan yang besar tidak selalu menghasilkan energi yang tinggi (Noerwasito, 2015).

Hasil perhitungan ini memberikan gambaran besarnya energi dan karbon pada material untuk pembangunan sebuah rumah dengan tipe 36 (36 m²). Apabila jumlah rumah yang dibangun sesuai dengan target pemerintah Indonesia sebanyak 1 juta rumah ditahun 2020, maka secara matematis dapat dihitung jumlah total *embodied energy* dan karbon yang dihasilkan selama siklus hidup bangunan. Optimalisasi energi pada material dapat dilakukan dengan mengidentifikasi dan menganalisis material penghasil energi terbesar dalam komponen bangunan. Penggunaan material yang berbeda-beda dapat mempengaruhi tingkat energi pada bangunan tersebut, untuk itu perlu mempertimbangkan jenis material yang digunakan dengan cara memodelkan (Carbonaroa dkk., 2015; Giordano dkk., 2017). Komitmen stakeholder/owner, konsultan dan kontraktor dalam mewujudkan bangunan

PERSENTASE KONSUMSI ENERGI DAN KARBON



Gambar 6. Jumlah konsumsi energi dan karbon pada setiap komponen bangunan

rumah yang ramah lingkungan merupakan langkah penting untuk mengurangi karbon dioksida (CO₂) sebagai unsur utama penyebab pemanasan global.

4. Kesimpulan

Rumah merupakan kebutuhan penting bagi setiap orang. Pembangunan rumah yang ramah lingkungan akan memberikan dampak positif bagi lingkungan hidup dan akan mengurangi pencemaran bumi. Pemilihan material sebagai unsur utama dalam bangunan akan mempengaruhi tingkat konsumsi *embodied energy* dan karbon emisi. Material yang ramah lingkungan dan rendah *embodied energy* dapat secara langsung meminimalisasi jumlah karbon dioksida yang dihasilkan selama siklus hidup bangunan. Total *embodied energy* dan *embodied carbon* pada bangunan rumah tipe 36 sebesar 127.714,66 MJ dan 10.257,48 KgCO₂. Material batu bata, atap seng, semen dan kayu merupakan material dominan yang mengkonsumsi *embodied energy* lebih dari 70% dari total energi pada material, sedangkan karbon dioksida yang dihasilkan hampir mendekati 80%. Pekerjaan atap seng dan dinding mengkonsumsi *embodied energy* sebesar 53% dari total energi, sedangkan lebih dari 70% penghasil karbon dioksida berasal dari pekerjaan dinding, kolom & balok serta pondasi. Jumlah energi akan semakin besar jika memperhitungkan transportasi material dan alat yang digunakan selama proses pembangunan serta energi yang dihasilkan selama operasional bangunan dengan umur bangunan berkisar 30 – 40 tahun termasuk energi yang dikeluarkan pada tahap pembongkaran bangunan. Upaya meminimalisasi energi dan emisi sebaiknya dilakukan sejak tahap perencanaan sebagai langkah awal menentukan bentuk bangunan, jenis material dan fungsi bangunan, serta metode pelaksanaan. Disamping itu peran pemerintah dalam menetapkan kebijakan dan

aturan tentang pembangunan yang berwawasan lingkungan akan menjadi dasar dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi khususnya perumahan yang ramah lingkungan (*Green Home*).

Ucapan Terima Kasih

Saya mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya atas bantuan dalam memfasilitasi dan mendanai kegiatan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Carbonaro, C., Cascone, Y., Fantucci, S., Serrab, V., Perinob, M., & Duttoc, M. (2015). Energi assessment of a PCM-embedded plaster: embodied energy versus operational energy. *Proceeding of 6th International Building Physics Conference*. 1-11, IBPC 2015, Italy <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.782>
- Deepak, B., Singh, R., & Sawhney, R L. (2014). Effect of Construction Materials on Embodied Energi and Cost of Buildings- A case study of residential houses in India up to 60 m of plinth area. *Energy and Buildings*, 69, 260–266. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.006>
- Dimoudi, A., & Tompa, C. (2008). Energi and environmental indicators related to construction of office buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 86–95. DOI: 10.1016/j.resconrec.2008.09.008
- Dixit, M. K. (2019). Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review. *Journal of Cleaner Production*, 209, 731–754. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.230>
- Environmental Protection Agency (2019). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2018*. Washington : Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks>
- Giordano, R., Serra, V., Demaria, E., & Duzel, A. (2017). Embodied energi versus Operational energi in a nearly zero energi building case study. 8th International Conference on Sustainability in Energi and Building. *Energi Procedia*, 111, 367–376. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.198
- Green Building Council Indonesia. (2013). *Perangkat Penilaian Greenship, Greenship Untuk Bangunan Baru Versi 1.2 Ringkasan Kriteria Dan Tolok Ukur*. Jakarta: GBCI Press. <http://elib.artefakarkindo.co.id>
- Hammond, G.P., & Jones, C.I. (2008). Embodied energi and karbon in construction materials, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Energy*, 161, 87–98. DOI: 10.1680/ener.2008.161.2.87
- Hammond, G.P., & Jones, C.I. (2008). Inventory Karbon & Energi (ICE) version 1.6a. *Sustainable Energi Research Team (SERT)*. Departement Mechanical Engineering, Universty of Bath, UK. www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied
- Jurizat, A., & Ramadhan, T. (2020). Embodied Energi pada Dinding Bambu Anyaman dan Plester, *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 3(2), 178-191. doi.org/10.17509/jaz.v3i2.25061
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2020). *Capaian Pembangunan Rumah Tembus 1,25 Juta Unit, Berita Perumahan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perumahan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Press. <https://perumahan.pu.go.id/news>
- La Roche, P. (2020). *Carbon-Neutral-Architectural Design*. Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22192>
- Larasati, D., Wahyuni, Y. S., Suhendri, & Triyadi, S. (2017). Embodied Energi Calculation in Mitigating Environmental Impact of Low-Cost Housing Construction. In *EDP Sciences (Ed.), MATEC Web of Conferences*, Vol. 138. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713801001>
- Mali, A.P., & Waghmare, A.P. (2016). Embodied Energi Audit of Residential Building. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS)*. 2(7), 1141-1147.
- Noerwasito, V. T. (2014). Efficient Heat Energi and Embodied Energi of Compressed Earth Block House in East Java. *Proceedings of International Conference on Architecture And Civil Engineering (ICAACE'14)*. Dubai, 1-6. <http://hdl.handle.net/11617/6554>
- Praseeda, K.I., Reddy, B.V.V., & Mani, M. (2016). Embodied and operational energi of urban residential buildings in India. *Energy Building*, 110, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.072>
- Ragheb, A., El-Shimy, H., & Ragheb, G. (2016) Green Architecture: A Concept of Sustainability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 778 – 787. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.12.075
- Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. (2010). Life cycle energi analysis of buildings: an overview, *Energy and Buildings*, 42, 1592–1600. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>

- Sáez, E.L., Villanueva, J.V.O., Aliaga, E.C., Zúñiga, L.G.L., Arce, V.L., & Fabado, A.R. (2020). Energy Efficiency and GHG Emissions Mapping of Buildings for Decision-Making Processes against Climate Change at the Local Level. *Sustainability*, 12, 1-17. doi:10.3390/su12072982
- Su, X., & Zhang, X. (2016). A detailed analysis of the embodied energy and carbon emissions of steel-construction residential buildings in China. *Energy and Buildings*, 119, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.070>
- Surahman, U., Kubota, T., & Higasi, O. (2015). Life Cycle Assessment of Energy and CO2 Emissions for Residential Buildings in Jakarta and Bandung, Indonesia. *Buildings*, 5, 1131-1155. <https://doi.org/10.3390/buildings5041131>
- Taffese, W. Z., & Abegaz, K. A. (2019). Embodied Energy and CO2 Emissions of Widely Used Building Materials: The Ethiopian Context. *Buildings*, 9 (136), 1-15. doi:10.3390/buildings9060136
- Thiel, C.L., Campion, N., Landis, A.E., Jones, A.K., Schaefer, L.A., & Bilec, M.M. (2013). A Materials Life Cycle Assessment of a Net-Zero Energy Building. *Energies*, 6, 1125-114. doi: 10.3390/en6021125
- Uda, S.A.K.A., Wibowo, M.A., & Hatmoko, J.U.D. (2020). Optimization of Embodied Energy in Bridge Construction. *Civil Engineering and Architecture* 8 (6): p.1167-1177, DOI: 10.13189/cea.2020.080602
- Uda, S.A.K.A., Wibowo, M.A., & Hatmoko, J.U.D. (2021). Embodied and Operational Energy Assessment Using Structural Equation Modeling for Construction Project. *Civil Engineering and Architecture*, 9(3), 670-681, DOI: 10.13189/cea.2021.090310
- United Nations Environment Programme. (2019). *2019 Global Status Report for Buildings and Construction Sector: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. Nairobi, Kenya : Global Alliance for Building and Construction Press. <https://wedocs.unep.org>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2016). *The Paris Agreement, Conference of the Parties*. Paris: UNFCCC Press. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Yu, M., Wiedmann, T., Crawford, R., & Tai, C. (2017). The Carbon Footprint of Australia's Construction Sector, International High- Performance Built Environment Conference – A Sustainable Built Environment Conference 2016 Series (SBE16), iHBE 2016, *Procedia Engineering* 180, 211–220. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.180.

Lampiran 1

Hasil Analisis Perhitungan *Embodied Energy* dan *Embodied Carbon*

No	Komponer	Jenis Pekerjaan	Material	Volume	Unit	Density (M ³ /Kg)	Berat (Kg)	Embodied		Total Embodied		
								Energi (MJ/Kg)	Karbon (KgCO ₂ /Kg)	Energi (MJ)	Karbon (KgCO ₂)	
1	Pondasi	Pondasi Batu Kali	Batu Kali	10,52	M ³	1.450	15.254	1	0,056	15.254	854,22	
			Semen	1.558,69	KG	-	1.558,69	4.6	0,83	7.169,97	1.293,71	
			Pasir	4,97	M ³	1.400	6.958	0.1	0,005	695,80	34,79	
2	Kolom & balok	Kolom	Semen	788,48	KG	-	788,48	4.6	0,83	3.627,01	654,44	
			Pasir	1,17	M ³	1.400	1.637,31	0.1	0,005	163,73	8,19	
			Kerikil	1,71	M ³	1.800	3.079,24	0.3	0,017	923,77	52,35	
			Besi	133,97	KG	-	133,97	24.6	1,71	3.295,66	229,09	
			Perancah Kayu	0,84	M ³	705	592,20	7.4	0,45	4.382,28	266,49	
		Balok	Semen	696,96	KG	-	696,96	4.6	0,83	3.206,02	578,48	
			Pasir	1,03	M ³	1.400	1.447,26	0.1	0,005	144,73	7,24	
			Kerikil	1,51	M ³	1.800	2.721,83	0.3	0,017	816,55	46,27	
			Besi	157,90	KG	-	157,90	24.6	1,71	3.884,34	270,01	
			Perancah Kayu	0,495	M ³	705	348,98	7.4	0,45	2.582,42	157,04	
3	Lantai	Lantai Beton	Semen	374,4	KG	-	374,4	4.6	0,83	1.722,24	310,75	
			Pasir	1,44	M ³	1.400	2.016	0.1	0,005	201,60	10,08	
			Keramik Tile	0,36	M ³	2.500	900	9	0,59	8.100	531	
4	Dinding	Batu bata	Batu bata	10,52	M ³	950	9.989,73	3	0,22	29.969,19	2.197,74	
			Plester Dinding	Semen	774,70	KG	-	774,70	4.6	0,83	3.563,62	643
		Cat	Pasir	2,98	M ³	1.400	4.171,44	0.1	0,005	417,14	20,86	
			Cat	20,69	Ltr	1,5	31,04	20,4	1,06	633,17	32,90	
5	Atap	Rangka Atap	Kayu	1,38	M ³	705	972,20	7,4	0,45	7.194,24	437,49	
			Atap Seng	Zink sheet	0,054	M ³	7.135	385,29	61,9	3,31	23.849,45	1.275,31
		Rangka Plafon	Timber	0,16	M ³	705	115,62	7,4	0,45	855,59	52,03	
			Plywood	0,14	M ³	705	101,52	15	0,81	1.522,80	82,23	
6	Pintu/ jendela	Kusen	Timber	0,25	M ³	705	176	7,4	0,45	1.299,03	79	
			Pintu Kayu	Timber Door	0,27	M ³	705	190	7,4	0,45	1.408,59	85,66
		Jendela Kaca	Jendela	Glass	0,0215	M ³	2.579	55,45	15	0,85	831,73	47,13
			Kaca									
Total Embodied Energy dan Embodied Carbon									127.714,66	10.257,48		
Per-m² bangunan									3.547,63	284,93		