

Karakteristik *Embodied Energy* dan *Carbon Emission* dalam Penelitian *Life Cycle Assessment (LCA)* untuk Menilai Kualitas Material Bangunan

Siswanti Zuraida

Kelompok Keahlian Teknologi Bangunan, Program Exchange Department of Architecture Kitakyushu University - Program Studi Magister Arsitektur, Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung

Abstrak

Embodied energy dan *carbon emission* merupakan parameter yang sering digunakan dalam penelitian *Life Cycle Assessment (LCA)*. Kedua penelitian tersebut memiliki implikasi yang berbeda dalam menilai kualitas material bangunan. Namun perbedaannya masih sulit untuk dipisahkan sehingga penggunaan kedua parameter tersebut selalu dikaitkan satu sama lain. Hal ini menyebabkan sulitnya perumusan permasalahan penelitian dalam mengukur *embodied energy* dan *carbon emission* pada material bangunan. Artikel ini bermaksud memaparkan bagaimana hubungan, posisi dan karakteristik *embodied energy* dan *carbon emission* dalam penelitian LCA terutama kaitannya dengan kualitas lingkungan serta memperjelas ruang lingkup permasalahan penelitian yang dapat dirumuskan dengan menggunakan kedua parameter tersebut.

Kata-kunci : *embodied energy*, *carbon emission*, *Life Cycle Assessment(LCA)*, material bangunan, permasalahan penelitian

Pengantar

Penilaian kualitas lingkungan akibat penggunaan material bangunan beberapa waktu ini mendapat perhatian yang lebih signifikan akibat dari berbagai kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan konstruksi bangunan. Hal ini juga diungkapkan oleh Bribián et al. (2011) bahwa pekerjaan sipil dan konstruksi bangunan mengonsumsi 60% dari bahan baku yang diambil dari litosfer. Upaya yang dilakukan untuk mengevaluasi kerusakan lingkungan yaitu dikeluarkannya standar internasional untuk menilai kualitas lingkungan atau lebih dikenal dengan sebutan *Life Cycle Assessment (LCA)*. Penilaian LCA mengkaji daur hidup bangunan yang dimulai dari ekstraksi bahan bangunan sampai demolisasi bangunan.

Embodied energy dan *carbon emission* merupakan kajian yang sering digunakan dalam pendekatan LCA. Tidak hanya LCA, sebagian besar penelitian yang berkaitan dengan peni-

lain kerusakan lingkungan menggunakan kedua ukuran ini dengan menghitung berapa besar jumlah *embodied energy* dan *carbon emission* yang dihasilkan pada proses pembuatan maupun konstruksi material. Penelitian kualitas material bangunan yang sering mengaitkan kedua ukuran ini membuat definisi keduanya menjadi kabur padahal keduanya memiliki implikasi yang berbeda satu sama lain ketika digunakan dalam penelitian. Selain itu ketepatan penggunaan parameter dan metode penelitian dalam membahas permasalahan *embodied energy* dan *carbon emission* merupakan hal yang substansial yang berpengaruh pada kevalidan hasil penelitian.

Salah satu hal yang penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan *embodied energy* dan *carbon emission* sebagai parameter untuk menilai kualitas material yaitu dengan mengetahui kapan dan bagaimana kedua tersebut dapat digunakan sebagai parameter dalam penelitian LCA. Pemahaman mengenai hubungan, posisi

dan karakteristik *embodied energy* dan *carbon emission* dapat membantu memperjelas permasalahan penelitian untuk menilai kualitas material terhadap lingkungan. Artikel ini akan membahas parameter dan metode yang digunakan untuk mengukur *embodied energy* dan *carbon emission* dengan membahas berbagai preseden untuk memperjelas karakteristik kedua parameter tersebut dalam perumusan permasalahan penelitian.

Metode

Metode yang digunakan dalam artikel ini berupa pendekatan kualitatif-eksploratif dengan interpretasi studi preseden untuk mengungkapkan temuan penelitian. Adapun studi preseden dipilih dengan anggapan bahwa setiap peneliti memiliki perumusan permasalahan yang ingin mereka ungkapkan dalam penelitiannya. Berdasarkan anggapan tersebut perumusan permasalahan penelitian yang berkaitan dengan LCA, *embodied energy*, dan *carbon emission*, dapat dipetakan dengan lebih jelas.

Metode Analisis dan Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan sumber sekunder berupa studi literatur yang diambil dari jurnal-jurnal internasional dengan teknik pengumpulan data *purposive sampling* dimana dilakukan reduksi data dengan memfokuskan pencarian pada preseden yang memiliki topik penelitian LCA. Melalui topik penelitian tersebut dapat diketahui parameter penelitian yang biasa digunakan peneliti untuk menilai LCA. Preseden penelitian yang dijadikan sampel sebanyak 20 buah dengan menekankan analisis data pada parameter dan metodologi yang digunakan dalam area studi penelitian.

Preseden yang digunakan mempunyai rentang tahun penelitian terkini yaitu antara tahun 2009 sampai tahun 2013. Pertimbangan tahun terbit untuk studi literatur memang penting untuk menjaga kevalidan data.

Adapun metode analisis data dilakukan dengan cara pemetaan masing-masing topik penelitian dari preseden tersebut yang dibuat dalam ben-

tuk tabel. Selanjutnya dilakukan analisis deskriptif yang memuat interpretasi dari tabel analisis tersebut.

Analisis dan Interpretasi

Tabel 1 (terlampir) memaparkan karakteristik penelitian yang didasarkan pada *embodied energy* dan *carbon emission*. Terdapat beberapa kecenderungan penelitian tentang *embodied energy* yang dikaitkan dengan LCA. Dari 8 buah jurnal yang dikategorikan berdasarkan penelitian *embodied energy*, 7 diantaranya menilai *embodied energy* berdasarkan pendekatan LCA (Monahan & Powell, 2011; Pellegrino, et al, 2011; DongHun & Gabbai, 2011; Sukhla, et al, 2009; Utama, et al, 2012; Crishna, et al, 2011; Tingley & Davison, 2012). Sementara Goggins, et al (2010) menilai *embodied energy* dengan mengukur bahan bakar untuk proses pembuatan material dan transportasi. Lebih jelas lagi Pellegrino, et al (2011) dan DongHun & Gabbai (2011) menjadikan *embodied energy* sebagai parameter LCA, dengan menambahkan biaya sebagai salah satu ukuran untuk menghitung *embodied energy*. Pertimbangan tentang perhitungan biaya pada pendekatan LCA juga pernah diungkapkan oleh Vogtlander, et al. (2010) menambahkan *Eco-cost* (biaya) sebagai salah satu hal yang perlu diperhitungkan dalam LCA untuk menilai material yang berkelanjutan.

Selanjutnya karakteristik metode penelitian yang didasarkan *embodied energy* sebagian besar menggunakan data primer dengan desain penelitian semi atau non-eksperimen, karena belum adanya standar baku dalam pengukuran *embodied energy* sehingga desain penelitian eksperimen murni sulit dilakukan dan membutuhkan waktu yang lama. Oleh sebab itu digunakan pemodelan atau analisis matematika dalam menghitung *embodied energy*. Adapun penggunaan data primer dalam penelitian *embodied energy* menjadikan penelitian ini lebih mudah dilakukan karena peneliti bisa mengobservasi secara langsung sehingga validitas dan realibilitas data dapat terpenuhi. Selain itu objek studi berupa material lebih memudahkan peneliti menginterpretasikan karakteristik dari material

itu dibandingkan penggunaan data sekunder yang tidak diketahui dengan jelas karakteristik dari material, sehingga pengukuran *embodied energy* lebih tepat digunakan untuk menilai proses pembuatan material.

Sementara itu karakteristik penelitian yang didasarkan pada *carbon emission* dalam menilai LCA yang dikaitkan dengan *embodied energy* terlihat pada penelitian Monahan & Powell (2011), Tingley & Davison (2012) dan Crishna, et al (2011). Penelitian-penelitian tersebut menjadikan *embodied energy* dan *carbon emission* sebagai parameter LCA. Penelitian lain yang hanya mengaitkan *carbon emission* dengan LCA dilakukan oleh Taehoon, et al (2012), Salmi & Wierink (2011), Sun Jeong, et al (2012) dan Junghoon, et al (2012). Penelitian-penelitian ini hanya menggunakan *carbon emission* sebagai parameter LCA. Lebih jelas lagi fokus parameter yang digunakan untuk menilai *carbon emission* dilakukan oleh Taehoon, et al (2012) dan Junghoon, et al (2012) dengan menggunakan biaya dan kekuatan material sebagai ukuran *carbon emission*, sedangkan Salmi & Wierink (2011) menggunakan bahan bakar selama proses dan transportasi sebagai ukuran *carbon emission*.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Hasanbeigi, et al (2013), Tian, et al (2013), Tanaka (2012), Ren & Wang (2011), Turner & Collins (2013) dan Nässén, et al (2012) hanya menilai *carbon emission* tanpa mengaitkannya dengan LCA. Ukuran dari penilaian *carbon emission* ini difokuskan pada bahan bakar selama proses pembuatan material (Hasanbeigi, et al, 2013; Tian, et al, 2013; Tanaka, 2012; Ren & Wang, 2011; Turner & Collins, 2013) dan biaya (Hasanbeigi, et al, 2013 dan Nässén, et al, 2012). Penilaian *carbon emission* yang sebagian besar didasarkan pada bahan bakar merupakan alasan yang logis karena bahan bakar menyumbang *carbon emission* yang tinggi.

Adapun metode penelitian yang digunakan untuk menilai *carbon emission* sebagian besar menggunakan data sekunder berupa data dari institusi yang terkait. Sedangkan penelitian yang menggunakan data primer selalu dikaitkan dengan *embodied energy*. Sama halnya desain penelitian untuk menilai *embodied energy*, desain penelitian untuk menilai *carbon emission*

sulit dilakukan dengan eksperimental murni karena keterbatasan waktu yang memang membutuhkan waktu lama untuk menilai *carbon emission* dalam proses pembuatan material akibat banyaknya variabel-variabel yang mempengaruhi sehingga pemodelan atau analisis matematika lebih mudah dilakukan. Selain itu penggunaan data sekunder bagi sebagian besar penelitian *carbon emission* diakibatkan penelitian yang terfokus pada bahan bakar dengan data yang mudah diperoleh melalui database institusi yang berisi kapasitas bahan bakar untuk produksi material, dibandingkan dengan mengobservasi secara langsung, sehingga pengukuran *carbon emission* lebih terfokus pada material itu sendiri.

Lebih jelasnya perbedaan karakteristik *embodied energy* dan *carbon emission* dapat disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 2. Karakteristik *Embodied Energy* dan *Carbon Emission* dalam Penelitian LCA

Parameter	Metode Penelitian	Sumber Data	Perumusan Permasalahan
<i>Embodied Energy</i>	non eksperimental	data primer	Tentang 'proses'
<i>Carbon Emission</i>	non eksperimental	data sekunder	Tentang 'produk'

Kesimpulan

Berdasarkan kajian pustaka dan hasil interpretasi yang berkaitan dengan *embodied energy* dan *carbon emission* dalam penelitian LCA diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. LCA merupakan teknik penilaian kualitas lingkungan yang sebagian besar menilai kerusakan lingkungan dengan mengukur *embodied energy* dan *carbon emission*.
2. Penilaian *embodied energy* dan *carbon emission* tidak selalu berkaitan dengan LCA melainkan bisa berdiri sendiri.
3. Sebagian besar penelitian mengenai *embodied energy* dan *carbon emission* menjadikan bahan bakar dan biaya sebagai parameter.
4. *Embodied energy* dan *carbon emission* dalam perumusan masalah penelitian yang berkaitan dengan kualitas material bangunan dapat menjelaskan dua hal yaitu penilai-

an yang menjelaskan 'proses' dan 'produk' material bangunan. Selanjutnya kaitan antara 'proses' dan 'produk' dengan *embodied energy* dan *carbon emission* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) *Embodied energy* lebih tepat digunakan untuk menjelaskan 'proses' berdasarkan penilaian kualitas material dengan penggunaan data primer.
- 2) *Carbon emission* lebih tepat digunakan untuk menjelaskan 'produk' berdasarkan penilaian kualitas material dengan penggunaan data sekunder.

Jika penelitian ingin menjelaskan proses dan produk untuk menilai kualitas material, pendekatan LCA dengan parameter *embodied energy* dan *carbon emission* tepat digunakan dengan penggunaan data primer dan desain penelitian eksperimental untuk memperjelas validitas dan realibilitas data.

Daftar Pustaka

- Bribian, Ignacio Zabalza; Alfonso Aranda Uson; Sabina Scarpellini. (2009). *Life Cycle Assessment in Buildings: State-Of-The-Art And Simplified LCA Methodology as a Complement for Building Certification*. Journal Building and Environment 44 (2009) 2510–2520.
- Crishna, N.; P.F.G. Banfill; S. Goodsira. (2011). *Embodied Energy and CO₂ in UK Dimension Stone*. Resources, Conservation and Recycling 55, 1265–1273.
- DongHun Yeo; Gabbai, Rene D. (2011). *Sustainable Design of Reinforced Concrete Structures Through Embodied Energy Optimization*. Energy and Buildings 43, 2028–2033.
- Goggins, Jamie; Treasa Keane; Alan Kelly. (2010). *The Assessment of Embodied Energy in Typical Reinforced Concrete Building Structures in Ireland*. Energy and Buildings 42, 735–744.
- Hasanbeigi, Ali; William Morrow; Jayant Sathaye; Eric Masanet; Tengfang Xu. (2013). *A Bottom-Up Model to Estimate The Energy Efficiency Improvement and CO₂ Emission Reduction Potentials in The Chinese Iron and Steel Industry*. Journal of Energy 50, 315–325.
- Junghoon Park; Sungho Tae; Taehyung Kim. (2012). *Life Cycle CO₂ Assessment of Concrete by Compressive Strength on Construction Site in Korea*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 2940–2946.
- Monahan, J; Powell, J.C. (2011). *An Embodied Carbon and Energy Analysis of Modern Methods of Construction in Housing: A Case Study Using A Lifecycle Assessment Framework*. Journal of Energy and Buildings 43, 179–188.
- Nässén, Jonas; Fredrik Hedenus; Sten Karlsson; John Holmberg. (2012). *Concrete VS Wood in Buildings an Energy System Approach*. Building and Environment 51, 361–369.
- Pellegrino, Margot; Biswajit Thakur; Himadri Guha; Marco Simonetti. (2011). *Energy Efficient Choice of Brick Façade in Kolkata, India*. Procedia Engineering 21, 737 – 744.
- Ren, L.J; Wang, W.J. (2011). *Analysis of Existing Problems and Carbon Emission Reduction in Shandong's Iron and Steel Industry*. Energy Procedia 5, 1636–1641.
- Salmi, Olli; Wierink, Maaria. (2011). *Effects of Waste Recovery on Carbon Footprint: A Case Study of The Gulf of Bothnia Steel and Zinc Industries*. Journal of Cleaner Production 19, 1857–1864.
- Shukla, Ashish; G.N. Tiwari; M.S. Sodha. (2009). *Embodied Energy Analysis Of Adobe House*. Renewable Energy 34, 755–761.
- Sun Jeong,Young; Seung-Eon Lee; Jung-Ho Huh. (2012). *Estimation Of CO₂ Emission Of Apartment Buildings Due to Major Construction Materials in The Republic of Korea*. Energy and Buildings 49, 437–442.
- Taehoon Hong; Changyoon Ji; Hyoseon Park. (2012). *Integrated Model for Assessing The Cost and CO₂ Emission (IMACC) for Sustainable Structural Design in Ready-Mix Concrete*. Journal of Environmental Management 103, 1–8.
- Tanaka, Kanako. (2012). *A Comparison Study Of EU and Japan Methods to Assess CO₂ Emission Reduction and Energy Saving in The Iron and Steel Industry*. Journal of Energy Policy 51 (2012) 578–585.
- Tian, Yihui; Qinghua Zhu; Yong Geng. 2013. *An Analysis of Energy-Related Green House Gas Emissions in The Chinese Iron and Steel Industry*. Journal of Energy Policy 56 (2013) 352–361.
- Tingley, Danielle Densley; Davison, Buick. *Developing an LCA Methodology to Account for The Environmental Benefits of Design for Deconstruction*. Journal Building and Environment 57 (2012) 387–395.
- Turner, Louise K; Collins, Frank G. (2013). *Carbon Dioxide Equivalent (CO₂-E) Emissions: A Comparison Between Geopolymer and OPC Cement Concrete*. Construction and Building Materials 43, 125–130.
- Utama, N. Agya; Ben C. Mclellan; Shabbir H. Gheewala; Keiichi N. Ishihara. (2012). *Embodied Impacts Of Traditional Clay Versus Modern Concrete*

Houses In A Tropical Regime. Building and Environment 57, 362-369.

Vogtländer, Joost ; Pablo Var der Lugt; Han Brezet. (2010). *The Sustainability Of Bambu Products For Local And Western European Applications: LCAs and Land-Use*. Journal of Cleaner Production 18, 1260-1269.

Tabel 1. Preseden Perumusan Permasalahan *Embodied Energy* dan *Carbon Emission* pada Penilaian Kualitas Material Bangunan

Area Studi	LCA	Perumusan Permasalahan			Metode Penelitian			Studi Kasus	
		Bahan Bakar selama proses	Bahan Bakar transportasi	Biaya	Kekuatan Material	Sumber Data	Desain Penelitian		
Embodied energy	Monahan&Powell (2011)	Monahan & Powell (2011)	Monahan&Powell (2011)			Primary observation-non participant	sources, Experimental, modelling	Building materials	
	Pellegrino,et al (2011)			Pellegrino,et al (2011)				Façade Bricks and glass	
	DongHun&Gabbai (2011)			DongHun&Gabbai (2011)				Concrete	
		Goggins,et.al (2010)	Goggins, et al (2010)				Quasy-experimental, mathematic analysis	Concrete	
	Sukhla,et.al (2009)							Adobe house	
	Utama,et.al (2012)					Primary interviewing	sources,	Clay and concrete	
	Crishna,et al (2011)					Primary questionnaire	sources, Non-Experimental	Stone	
	Tingley & Davison (2012)					Secondary insitution record	sources, Non-Experimental, Literary	Building construction	
			Hasanbeigi, et al (2013)		Hasanbeigi, et al (2013)		Secondary insitution record	sources, Quasy-experimental, modelling	Steel and iron
		Taehoon,et al (2012)		Taehoon, et al (2012)	Taehoon, et al (2012)			Quasy-experimental, scenario analysis	Concrete
		Tian, et al (2013)						Steel and iron	
				Nässén, et al (2012)				Wood and Concrete	
		Tanaka (2012)					Comparing study, quasy-experimental, modelling	Steel and iron	
		Ren & Wang (2011)					Non experimental, literary	Steel and iron	
Carbon Emission	Salmi& Wierink (2011)	Salmi & Wierink (2011)	Salmi & Wierink (2011)					Steel and zinc	
	Tingley & Davison (2012)							Building construction	
		Turner & Collins (2013)				Secondary sources --> earlier research	Comparing study, non-experimental, literary study	Geopolymer,OPC, cement, concrete	
	Sun Jeong, et al (2012)					Primary sources, observation non participant	Experimental, modelling	Building elements	
	Monahan & Powell (2011)	Monahan & Powell (2011)	Monahan & Powell (2011)					Building materials	
	Junghoon, et al (2012)			Junghoon, et al (2012)	Junghoon, et al (2012)	Primary observation, participant	sources,	Concrete	
	Crishna, et al (2011)					Primary questionnaire	sources, Non-Experimental	Stone	