

EMBODIED ENERGY PADA DINDING BAMBU ANYAMAN DAN PLESTER

Article History:

First draft received:
30 Mei 2020

Revised:
18 Juni 2020

Accepted:
22 Juni 2020

Final proof received:
Print:
30 Juni 2020

Online
4 Juli 2020

Jurnal Arsitektur ZONASI
is indexed and listed in
several databases:

SINTA 4 (Arjuna)

GARUDA (Garda Rujukan Digital)

Google Scholar

Dimensions

oneSearch

BASE

Member:

Crossref

RJI

APTARI

FJA (Forum Jurna Arsitektur)

IAI

AJPKM

Aldissain Jurizat¹

Try Ramadhan²

^{1,2} Departemen Pendidikan Teknik Arsitektur, Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia
Jalan Dr. Setiabudhi No. 207, Bandung

Email: aldissain@upi.edu
tryramadhan@upi.edu

Abstract: Buildings consume high energy and cause an increase in CO₂ gas emissions to the environment. This energy consumption is known as embodied energy where energy is used in the production and maintenance processes of buildings. In buildings, the largest consumption of embodied energy is contained in the walls. Among the various materials and construction of building walls, the trend of the plaster bamboo wall has been significantly increased because it has several advantages for the environment. This research was conducted to measure the embodied energy contained in bamboo wall construction located in Kampung Buyut Cipageran, Cimahi City. This research method uses Inventory Carbon and Energy (ICE) data from the University of Bath and Indonesian National Standard as the basics data for the calculation. The analysis has been conducted by calculating the basics data and the design drawings. The result showed that the embodied energy in the bamboo walls had a value of 230.61 MJ/m². This result is lower than the known standard for brick wall with 440 MJ/m². The bamboo wall is proved to be more efficient in energy use than conventional wall with brick as the main construction.

Keywords: bamboo wall; embodied energy;

Abstrak: Bangunan mengkonsumsi energi yang cukup tinggi dan mengakibatkan peningkatan emisi gas CO₂ ke lingkungan. Penggunaan energi ini diketahui sebagai *embodied energy* dimana energi digunakan dalam proses produksi dan perawatan bangunan. Dalam suatu bangunan, penggunaan *embodied energy* terbesar terletak pada dinding. Dari berbagai material dan konstruksi pembentuk dinding bangunan, dinding bambu plester menjadi tren terbaru karena memiliki beberapa keunggulan dalam keramahan terhadap lingkungan. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur *embodied energy* yang terdapat pada komponen dinding bambu di salah satu bangunan Kampung Buyut Cipageran, Kota Cimahi. Metode pengukuran menggunakan data *Inventory Carbon and Energy (ICE)* dari *University of Bath* dan petunjuk analisis pekerjaan konstruksi dari SNI. Hasil analisis menunjukkan bahwa *embodied energy* pada dinding bambu plester memiliki nilai 230,61 MJ/m². Jika dibandingkan dengan dinding bata plester konvensional yang memiliki standar 440 MJ/m², dinding bambu plester lebih efisien dalam penggunaan energi dalam siklus hidupnya.

Kata Kunci: dinding bambu; *embodied energy*;

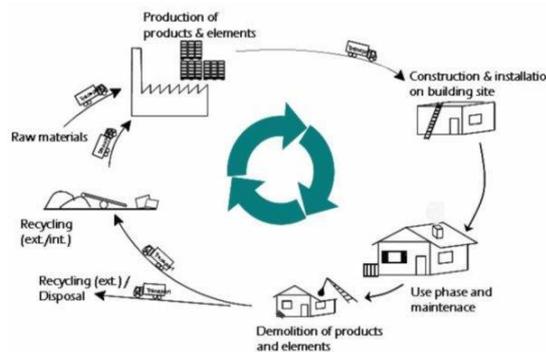
1. Pendahuluan

Konsumsi energi di dunia merupakan salah satu isu yang menjadi prioritas masyarakat dunia saat ini. Sektor bangunan mengkonsumsi kurang lebih 40% dari total energi global (Waqas dan Ud Din, 2013). Dalam praktiknya, energi memang selalu menyertai setiap aktivitas pembangunan. Dimulai sejak material diekstraksi dari pertambangan hingga bangunan dihancurkan, semuanya tentu mengkonsumsi energi. Energi yang terkandung dalam aktivitas pembangunan baik langsung maupun tidak langsung tersebut biasanya disebut sebagai *embodied energy* (EE) (Wahyuni & Larasati, 2017). Menurut Treloar (1998), *embodied energy* adalah

seluruh energi yang melekat atau dikonsumsi dalam semua tahapan kegiatan yang diperlukan untuk menunjang sebuah proses pembuatan sebuah benda atau produk. Berbagai dampak lingkungan yang diakibatkan oleh konsumsi energi seperti emisi karbon (CO₂) secara tidak langsung menjadikan *embodied energy* sebagai isu yang mulai diperhatikan oleh dunia saat ini. Beberapa dampak tersebut adalah pemanasan global dan perubahan iklim.

Embodied energy dapat dilihat melalui aspek proses yang terdiri dari dua jenis, yaitu: *embodied energy* dalam siklus energi bangunan dan *embodied energy* dalam siklus hidup material. *Embodied energy* dalam siklus energi bangunan menurut Ramesh dkk. (2010) digambarkan sebagai total energi yang dibutuhkan dan digunakan dari awal pembuatan material, instalasi material, dan renovasi material pada bangunan hingga penghancuran. Sedangkan *embodied energy* dalam siklus hidup material lebih berkaitan dengan energi yang dibutuhkan untuk memproduksi sebuah material. Energi tersebut meliputi energi penggunaan bahan bakar pada peralatan yang digunakan untuk pengumpulan, penggalian, dan penambangan material mentah, dan energi pada alat transportasi yang digunakan untuk memindahkan material mentah menuju pabrik untuk diolah lebih lanjut (Dixit dkk, 2010).

Kedua aspek tersebut merupakan satu gabungan *embodied energy* yang saling berhubungan dalam siklus keberadaan suatu bangunan. Penggunaan energi dapat dibagi berdasarkan fase siklus hidup bangunan yaitu fase ekstraksi sumber material, produksi pabrik, konstruksi dan fase pemasangan, penggunaan dan perawatan, penghancuran, dan fase daur ulang/penggunaan kembali hingga pembuangan (Zhang & Wang, 2016). Pembagian penggunaan energi pada siklus hidup bangunan dijelaskan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Pembagian penggunaan energi fase siklus hidup bangunan
Sumber: Sentzas, dkk., 2017

Embodied energy pada bangunan berhubungan dengan siklus hidup bangunan yang menggunakan energi pada awal pembangunan (energi yang digunakan untuk ekstraksi, transportasi, dan pemasangan material), energi yang digunakan untuk perawatan dan perbaikan, hingga energi yang dikonsumsi untuk penghancuran bangunan (Manish K. Dixit, 2017). Semakin besar penggunaan *embodied energy*, maka semakin besar gambaran penggunaan energi keseluruhan bangunan. *Embodied energy* inilah yang kemudian dapat menjadi indikator terukur dalam menghitung besaran nilai energi yang dikonsumsi bangunan. Besaran nilai *embodied energy* yang bersifat kuantitatif dapat lebih mudah dipahami oleh semua pihak sebagai acuan, perbandingan atau penilaian. Nilai tersebut diharapkan dapat memberikan pertimbangan dalam upaya meminimalisir penggunaan energi yang sudah sangat besar oleh sektor bangunan (Wahyuni & Larasati, 2017 dan Anonym, 2014).

Beberapa penelitian sebelumnya terkait energi ini sudah pernah dilakukan di Indonesia, salah satunya oleh Surahman, Kubota, & Higashi (2015) yang menyajikan secara keseluruhan energi bangunan pada objek rumah di beberapa kota besar di Indonesia. Penelitian Larasati, dkk, (2017) juga pernah melakukan identifikasi *embodied energy* pada beberapa tipe hunian di Indonesia sebagai upaya mitigasi bencana dengan menggunakan data *Inventory Carbon and Energy (ICE)* dari *University of Bath*. Kedua penelitian tersebut mengakses konsumsi energi hunian-hunian yang menggunakan material yang sering digunakan di Indonesia.

Salah satu elemen bangunan yang mengkonsumsi energi paling besar adalah dinding. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hanifah dkk., (2019), elemen dinding merupakan faktor paling signifikan yang berkontribusi terhadap nilai EE pekerjaan arsitektur pada bangunan. Pada penelitian rumah tinggal sederhana di Indonesia, *embodied energy* dari konstruksi dinding bata dan batako yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap nilai *embodied energy* total bangunan (Utama dan Gheewala, 2008 dalam Pratiwi, 2011). Hal ini dapat disebabkan akibat besarnya proporsi material bangunan yang digunakan untuk membangun dinding sebagai selubung bangunan. Maka dari itu, sudah seharusnya menemukan alternatif lain penggunaan material yang lebih rendah energi untuk digunakan sebagai elemen dinding.

Jenis material yang nilai EE-nya cukup besar adalah baja, besi serta aluminium karena berkaitan dengan proses pengolahan yang mengkonsumsi banyak energi. Oleh karena itu penggunaan energi perlu dibatasi dengan menggunakan material yang memiliki nilai EE-nya rendah, salah satunya adalah kayu dan bambu. Material yang langsung berasal dari alam ini memiliki karakteristik yang tepat dalam mengurangi konsumsi energi dalam bangunan. Material ini juga tidak banyak mengalami proses pengolahan sehingga tidak banyak energi yang dikeluarkan pada fase tersebut.

Bambu merupakan salah satu alternatif material bangunan yang dipercaya dapat menjawab isu lingkungan, apalagi di daerah yang banyak ditumbuhi seperti Indonesia. Bambu sebagai material ekologis seharusnya dapat dimanfaatkan lebih masif terlebih jika dapat dimodernisasi. Salah satunya seperti dinding bambu plester karena memiliki potensi yang dapat dikembangkan secara prefabrikasi (Suriani, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Marzuki (2019) telah menganalisis perbandingan antara penggunaan material bata dan material bambu plester dalam hal efisiensi biaya dan mengidentifikasi adanya penurunan harga dari penggunaan dinding bambu plester sebesar 31,17%. Pada *embodied energy*, besarnya biaya yang dikeluarkan terkadang dapat berhubungan dengan energi yang dikonsumsi. Seperti dijelaskan sebelumnya kayu dan bambu merupakan material yang memiliki nilai intensitas energi yang cenderung rendah jika dibandingkan dengan bata, precast dan batako (Nairobi, 1991). Oleh karena itu, penelitian ini akan mencoba mengukur besaran nilai *embodied energy* pada elemen dinding bangunan yang menggunakan material bambu plester. Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan alternatif material dinding bangunan yang memiliki potensi dalam menurunkan konsumsi energi pada bangunan.

Adapun *embodied energy* yang dihitung adalah nilai awal dari komponen material dinding dan *embodied energy* untuk perawatan komponen dinding. *Embodied energy* pada fase penghancuran tidak dihitung karena pengaruhnya dianggap relatif kecil, kurang lebih sebesar 1-3% dari siklus energi bangunan (Ampofo-Anti, 2010). Nilai *embodied energy* awal akan didapatkan dari data inventaris *embodied energy* ICE (*Inventary of Carbon and Energy*) yang dipublikasikan oleh oleh *University of Bath, Sustainable Energy Research Team* (Geoff Hammond & Jones, 2008), yang merupakan database koefisien *embodied energy* dan emisi karbon dari material yang diakui pada beberapa penelitian *embodied energy*.

Pada penelitian ini dilakukan sampel terhadap salah satu bangunan di kawasan wisata Kampung Buyut Cipageran yang terletak di Kota Cimahi. Kampung ini merupakan sebuah kawasan wisata yang dirancang oleh Ir. Pon S. Purajatnika, IAI mewakili perusahaan PT. Awi Agraprana Bestari.

2. Metode Penelitian

Berdasarkan Dixit (2019), *embodied energy* dapat dikategorikan menjadi dua bentuk atau tahapan, yaitu *embodied energy* yang terkandung secara langsung dan yang tidak langsung. *Embodied energy* langsung merupakan energi yang digunakan ketika pelaksanaan konstruksi berlangsung, biasanya berhubungan dengan pemasangan material dan komponen bangunan, kegiatan prefabrikasi, transportasi di sekitar *site*, hingga kegiatan administrasi selama proses konstruksi. *Embodied energy* tidak langsung lebih berhubungan dengan energi yang digunakan saat proses produksi dari material bangunan, energi untuk perbaikan, penggantian dan penghancuran material.

Embodied energy tidak langsung dapat dibagi tiga menjadi *embodied energy* awal (*initial*), berulang (*recurrent*) dan penghancuran (*demolition*) (Ibn-Mohammed, dkk., 2013). *Embodied energy* awal merupakan jumlah kebutuhan energi yang digunakan untuk produksi, penyediaan material mentah, proses produksi pabrik, dan pengiriman produk untuk pembangunan suatu bangunan. *Embodied energy* berulang merupakan energi yang digunakan dari proses perawatan dan penggantian material bangunan selama usia pakai hidupnya. *Embodied energy* penghancuran terkait dengan proses penghancuran bangunan dan pembuangan material bangunan yang tidak digunakan dari *site*.

Penelitian ini hanya akan mengukur *embodied energy* secara tidak langsung karena lingkup penelitian menggunakan objek aplikasi konstruksi pada satu bangunan. *Embodied energy* untuk *demolish* tidak digunakan karena memiliki pengaruh yang kecil dibandingkan tahapan yang lain. Telah juga diuraikan bahwa konsumsi energi pada tahap penghancuran bangunan dengan fungsi kantor tiga lantai terhitung sebesar 1-3% dari total energi bangunan (Ampofo-Anti, 2010).

Penelitian ini bersifat kuantitatif karena melakukan perhitungan terukur dari objek yang diteliti. Analisis data akan mengkalkulasi jumlah dari *embodied energy* awal total (EEAT), *embodied energy* berulang atau perawatan total (EEPT) dan *embodied energy* total (EET). Data primer menggunakan dokumen studi kasus antara lain gambar bangunan, *bill of quantity*, dan rencana kerja dan syarat. Sedangkan data sekunder yang digunakan antara lain data inventaris energi dari ICE (Hammond & Jones, 2008) dan analisis pekerjaan konstruksi dari SNI. Setelah didapatkan nilai EET, maka interpretasi dilakukan untuk menjelaskan data

tersebut, baik secara terbatas maupun lebih luas dengan membandingkan dengan temuan penelitian-penelitian sebelumnya.

2.1 Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menghitung *embodied energy* pada salah satu bangunan di kawasan wisata Kampung Buyut Cipageran yang berlokasi di Jalan Kolonel Masturi, Kota Cimahi, Provinsi Jawa Barat. Proyek ini dirancang dan dibangun oleh PT. Awi Agraprana Bestari di tahun 2016. Kawasan ini ditujukan sebagai tempat wisata dan rekreasi dengan konsep arsitektur tradisional Sunda.



Gambar 2. Bangunan fungsi wisata yang menjadi sampel penelitian
Sumber: Ferdelina, 2016

Kawasan ini dinamakan Kampung Buyut Cipageran karena menganut budaya dan konsep masyarakat Sunda. Tujuan dari kawasan ini memang diperuntukkan untuk masyarakat umum dengan berlandaskan prinsip kearifan lokal. Harapan dari pemilik lokasi ini adalah menjaga dan melestarikan alam, seni dan budaya dari masyarakat setempat.



Gambar 3. Layout dan tampak bangunan
Sumber: PT. Awi Agraprana Bestari dalam Ferdelina, 2016

Bangunan yang menjadi objek penelitian adalah bangunan dengan fungsi *resort* atau wisata (lihat Gambar 2). Bangunan ini memiliki luas 16 m² dengan bambu dan kayu menjadi komponen bahan bangunan utamanya. Konstruksi dinding pada bangunan ini terdiri dari dinding bambu dan dinding bambu dengan plester. Bangunan yang menjadi sampel penelitian memiliki satu ruang utama, selasar, toilet dan teras. Bangunan utama dan toilet terpisah oleh selasar (lihat Gambar 4).



Gambar 4. Material kayu dan bambu sebagai komponen utama bangunan (kiri) dan proses konstruksi bangunan (kanan).

Sumber: PT. Awi Agraprana Bestari dalam Ferdelina, 2016

Material bambu dan kayu menjadi komponen utama material bangunan. Bambu yang digunakan merupakan jenis bambu tali dan bambu petung. Bambu tali memiliki ruas kurang lebih 65 cm dengan diameter 6-8 cm dan biasa tumbuh hingga 6 sampai 13 meter panjang. Usia panen ideal untuk bambu ini adalah 3-5 tahun. Bambu ini digunakan sebagai struktur penunjang dan pembentuk anyaman bambu (Gambar 4, kiri). Struktur utama bangunan menggunakan bambu jenis betung yang dikenal lebih kuat dibandingkan jenis bambu lainnya. Ukuran dari bambu ini cukup besar dengan diameter kurang lebih 10-15 cm dengan jarak ruas yang pendek serta bisa tumbuh hingga 10-20 meter, lihat Gambar 4 (kanan).



Gambar 5. Anyaman dinding yang dilapisi plester (kiri), Sambungan miring (tengah), dan sambungan T (kanan)

Sumber: PT. Awi Agraprana Bestari dalam Ferdelina, 2016

Dinding tali digunakan untuk membentuk anyaman bambu sebagai komponen utama pembentuk dinding pada bangunan. Anyaman dibuat berdasarkan kebutuhan luas permukaan dinding yang dibutuhkan. Prosesnya dilakukan langsung di lokasi pembangunan dengan perhitungan ukuran dan kondisi bambu, lihat Gambar 5 (kiri). Sistem sambungan yang digunakan adalah sambungan jenis T dan sambungan miring. Jenis kedua sambungan ini merupakan jenis sambungan yang paling banyak digunakan dalam konstruksi. Jenis sambungan tersebut diaplikasikan sebagai konstruksi atap dan dinding. Sambungan ini direkatkan oleh mur baut dengan cara dibor, lihat Gambar 5 (tengah dan kanan).

2.2 Metode Perhitungan Embodied Energy Awal

Menurut Ampofo-Anti (2010), *embodied energy* awal bangunan diantaranya dipengaruhi oleh produksi material, transportasi material dan metode konstruksi. Berdasarkan nilai besar energi yang diperlukan untuk memproduksi material, material bangunan dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori: tinggi, sedang, dan rendah. Material dengan kategori tinggi menggunakan energi lebih dari 5 GJ/ton. Material dengan kategori sedang menggunakan energi sebesar 0.5-5 GJ/ton. Material dengan kategori rendah menggunakan energi berkisar 0.5 GJ/ton, lihat Tabel 1.

Tabel 1. Pengkategorian material berdasarkan energi yang dibutuhkan dalam pembuatannya

Material	Kebutuhan energi primer (GJ/ton)
Energi sangat tinggi	
Alumunium	200-250
Plastik	50-100
Copper	100+
Stainless steel	100+

Material	Kebutuhan energi primer (GJ/ton)
Energi Tinggi	
Baja	30-60
Zinc	25+
Kaca	12-25
Semen	5-8
Plasterboard	8-10
Energi Sedang	
Kapur	3-5
Bata dan keramik	2-7
Gypsum plaster	1-4
Beton (di tempat)	0.8-1.5
Beton block	0.8-3.5
Beton precast	1.5-8
Batako	0.8-1.2
Kayu	0.1-5
Energi Rendah	
Pasir, agregat	<0.5
Flyash, RHA, volcanic ash	<0.5
Tanah	<0.5

Sumber: Diadopsi dari Nairobi (1991)

Nilai-nilai koefisien *embodied energy* dari jenis-jenis material bangunan tersebut sudah banyak dipublikasikan beberapa negara. Hal ini juga berkaitan sudah berjalannya ISO 14040 hingga 14044 yang berkaitan dengan *Life Cycle Assessment* suatu produk industri di negara-negara tersebut, terlepas dengan berbagai macam metode yang dapat digunakan beserta batasan asumsinya. Meskipun begitu dengan adanya nilai koefisien tersebut, maka dapat terbentuk data inventaris yang lengkap terkait material-material yang ada.

Pada umumnya nilai *embodied energy* material dinyatakan dalam MJ/kg, dimana Mega Joule setara dengan 0,948 kBTu (*kilo british thermal unit*) atau 0,278 kWh (*kilowatt hour*). Beberapa nilai koefisien *embodied energy* material yang banyak digunakan dalam penelitian di bidang *embodied energy*, antara lain dipublikasikan oleh *Inventory of Carbon and Energy* (ICE) oleh Hammod dan Jones (2008). Inventaris data energi ini dalam proses awalnya berisi lebih dari 1700 catatan tentang *embodied energy* yang didapatkan dari 247 sumber data. Inventarisasi data energi yang disediakan oleh University of Bath kemudian mencantumkan hampir 200 material berbeda yang dapat digunakan dalam perhitungan (G. P. Hammond & Jones, 2008). Data tersebut terus dikembangkan dan diperbarui agar menyesuaikan kondisi industri terbaru (Geoffrey Hammond & Jones, 2011).

Metode perhitungan *embodied energy* awal mengacu pada penelitian (Sabaruddin, dkk., 2011) dan pengembangan yang telah dilakukan oleh (Pratiwi, 2011). Tahapan dan metode untuk mengestimasi *embodied energy* awal pada jenis dinding adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jenis konstruksi dinding yang akan dihitung beserta materialnya

Konstruksi dinding terdiri dari material anyaman bambu dan adukan spesi. Material pasangan dinding yang digunakan adalah anyaman/susunan bilik bambu. Sedangkan adukan spesi berfungsi sebagai perekat untuk setiap blok material pasangan dinding, material yang digunakan diantaranya adalah campuran pasir, semen dan air. (Lihat Tabel 2)

Tabel 2. Tabel komponen material pada konstruksi dinding

Konstruksi Pekerjaan Dinding	Komponen Material
Pasangan Dinding	Anyaman 183bamboo
Lapisan Dinding	Plaster: PP (Pasir Pasang) dan PC (<i>Portland Cement</i>) dan Acian: PC (<i>Portland Cement</i>)
Finishing Dinding	Acian celah spesi: PC (<i>Portland Cement</i>) dan Cat
Bukaan Dinding	Kaca (untuk jendela, dan lain-lain) dan Kayu (untuk daun pintu/jendela)

Sumber: Analisa Penelitian, 2020

Konstruksi pasangan dinding yang digunakan adalah dinding bambu plester. Untuk membuat 1 m² dinding anyaman bambu dibutuhkan bahan sebagai berikut (lihat Tabel 3):

Tabel 3. Indeks material bangunan

Kebutuhan	Satuan	Indeks
Anyaman bambu	M ²	0,150
Kayu 5/7	M ³	0,014
Paku 4-7 cm	kg	0.120
Multiplek	m ²	0.350
Lem	kg	0.640

Sumber : SNI 03-6897-2002 (Standar Nasional Indonesia, 2002)

Konstruksi lapisan dinding yang digunakan antara lain adalah konstruksi plester dan acian. Konstruksi plesteran pada umumnya terdiri dari material semen, pasir dan air, sedangkan acian terdiri dari semen yang dicampur dengan air. Beberapa jenis konstruksi plesteran dan acian yang terdaftar pada SNI 2837:2008 (Standar Nasional Indonesia, 2008a) antara lain adalah:

- a. Analisis pekerjaan konstruksi membuat 1m² plesteran 1 PC (Portland Cement): 4 PP (Pasir Pasang) tebal 20 mm. Lihat Tabel 4.

Tabel 4. Indeks material bangunan

Kebutuhan	Satuan	Indeks
PC	kg	8,320
PP	m ³	0,032

Sumber : SNI 2837:2008 (Standar Nasional Indonesia, 2008a)

- b. Analisis pekerjaan konstruksi membuat 1m² acian. Lihat Tabel 5.

Tabel 5. Indeks material bangunan

Kebutuhan	Satuan	Indeks
PC	kg	3,250

Sumber : SNI 2837:2008 (Standar Nasional Indonesia, 2008a)

Beberapa tipe *finishing* dinding dilakukan dengan finishing skoning pada pasangan dinding menggunakan cat. Untuk susunan komponen bahan pada tipe konstruksi untuk finishing dinding yang terdaftar berdasarkan SNI 2837:2008 (Standar Nasional Indonesia, 2008a) dan SNI 7395:2008 (Standar Nasional Indonesia, 2008c) adalah sebagai berikut:

- a. Analisis pekerjaan konstruksi pengecatan 1m² tembok eksterior. Lihat Tabel 6.

Tabel 6. Indeks material bangunan

Kebutuhan	Satuan	Indeks
Plamir/alkali	kg	0.085
Cat dasar	kg	0,100
Cat penutup 2 kali	kg	0.200

Sumber : SNI 2837:2008 (Standar Nasional Indonesia, 2008a)

- b. Analisis pekerjaan konstruksi pengecatan 1m² tembok interior. Lihat Tabel 7.

Tabel 7. Indeks material bangunan

Kebutuhan	Satuan	Indeks
Plamir/alkali	kg	0.010
Cat dasar	kg	0,100
Cat penutup 2 kali	kg	0.200

Sumber : SNI 7395:2008 (Standar Nasional Indonesia, 2008c)

2. Menetapkan nilai dasar *embodied energy* material (EE_m)

Untuk mendapatkan nilai EEm, data yang yang didapatkan berdasarkan nilai koefisien *embodied energy* material berdasarkan ICE (2008), lihat Tabel 8.

Tabel 8. Nilai koefisien *embodied energy* dari beberapa jenis material bangunan

Material	Koefisien (MJ/kg)
Beton	1,4
Agregat	0,11
Semen	5,08
Bata	3,0
Conblock/Bata AACB	3,5

Material	Koefisien (MJ/kg)
Kayu	8,5
Multiplek	16
Lem	12
Kaca	18,5
Besi/Baja	35,3
Alumunium	218,0
Cat	67,55

Sumber: diadopsi dari Hammond & Jones (2008) dan Pratiwi (2011)

3. Menghitung Nilai Embodied Energy Awal Konstruksi (EEAk)

Nilai EE_m kemudian dikalikan dengan indeks material berdasarkan jenis pekerjaan dindingnya, sehingga didapatkan nilai *embodied energy* awal dari setiap tipe pekerjaan dinding (pasangan dinding, lapisan dinding, *finishing* dinding). Perhitungan ini dilakukan dengan persamaan 1 sebagai berikut:

$$EEA_k = \sum \{bb (l_{bb} \times EE_m)\} \text{ MJkg} \quad (1)$$

Keterangan:

- EEA_k : Embodied energy awal konstruksi
- bb : Bahan bangunan
- l_{bb} : Indeks bahan bangunan
- EE_m : Nilai dasar *embodied energy* material bangunan

4. Menghitung Nilai Embodied Energy Awal Konstruksi (EEAd)

Setelah didapatkan nilai EE_k dari setiap jenis pekerjaan dinding, maka selanjutnya hasil tersebut dikalikan dengan masing-masing luas pekerjaannya pada dinding berdasarkan jenis dinding, dan dijumlahkan seluruhnya sehingga didapatkan nilai *embodied energy* awal dinding (EEA_d) dari setiap jenis dinding dengan persamaan 2 berikut:

$$EEA_d = \sum Pek (V_k \times EEA_k) \text{ MJ} \quad (2)$$

Keterangan:

- EEA_d : Nilai *embodied energy* awal dinding
- Pek : Jenis pekerjaan
- V_k : Volume konstruksi dinding
- EEA_k : Analisa *embodied energy* awal konstruksi dinding

5. Menghitung Nilai Embodied Energy Awal Konstruksi (EEAT)

Setelah dilakukan perhitungan terhadap nilai *embodied energy* awal konstruksi pekerjaan dinding, maka langkah selanjutnya dilakukan perhitungan total *embodied energy* awal per satuan luas bangunan dengan persamaan 3 berikut:

$$EEAT = \sum EEA_d : LB \text{ MJ/m}^2 \quad (3)$$

Keterangan:

- $EEAT$: Total *embodied energy* awal
- EEA_d : Nilai *embodied energy* awal dinding
- LB : Luas total bangunan

2.3 Metode Perhitungan *Embodied Energy* Perawatan Dinding

Dalam melakukan perhitungan *EE* untuk perawatan bangunan, faktor-faktor yang mempengaruhi *embodied energy* berulang ini antara lain adalah usia bangunan (sesuai dengan regulasi yang ada), strategi dan penggunaan material untuk perawatan. Penelitian yang dilakukan Ting (2006), menunjukkan bahwa elemen dinding pada kasus rumah dan komponennya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap total *embodied energy* bangunan. Besar pengaruh elemen dinding tersebut telah dirangkum pada Tabel 4. Dari studi kasus yang dilakukan Ting (2006), urutan jenis konstruksi dinding luar dengan nilai *embodied* tinggi adalah konstruksi dinding material bata (pada rumah menengah) dan konstruksi dinding material beton *precast* (pada rumah berlantai banyak), tercantum pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengaruh konstruksi dinding terhadap total *embodied energy*

Tipe Rumah Berdasarkan Kepadatan Penghuni	Pengaruh Terhadap Embodied Energy		
	Dinding Eksternal	Dinding Internal	Finishing
Single (2 lantai)	34,7%	4,4 %	5,3%
Menengah (4 lantai)	32%	12,7%	6,7%
Tinggi (>12 lantai)	50,6%	1,6%	7,8%

Sumber: Ting (2006)

Untuk melakukan perhitungan terhadap *embodied energy* perawatan, hal paling utama adalah strategi pengguna dalam melakukan perawatan terhadap dinding bangunan. Dalam hal ini proses wawancara terhadap pengguna dan arsitek dilakukan untuk memperoleh data strategi perawatan dinding bangunan. Dalam tahap perhitungan ini mengadopsi penelitian oleh (Pratiwi, 2011) dalam menentukan kebutuhan energi dalam perawatan bangunan yang dikembangkan dari (Sabaruddin dkk., 2011). Tahapan dan metode untuk mengestimasi *embodied energy* perawatan pada jenis dinding adalah sebagai berikut:

1. Menentukan strategi perlakuan terhadap dinding dalam fase perawatan selama beberapa tahun ke depan. Dari hasil yang diperoleh, perawatan bangunan hanya melakukan pengecatan kembali pada permukaan dinding dalam asumsi per tahun usia bangunan.
2. Menentukan besaran indeks koefisien yang dibutuhkan berdasarkan pekerjaan yang dilakukan selama fase perawatan. Indeks mengacu pada SNI 2837:2008 (Standar Nasional Indonesia, 2008a) dan SNI 7395:2008 (Standar Nasional Indonesia, 2008c) untuk pekerjaan cat penutup 1 kali dengan besar indeks adalah 0,100.
3. Menetapkan nilai dasar *embodied energy* material (EE_m) yang didapatkan berdasarkan nilai koefisien *embodied energy* material (ICE, 2008), lihat Tabel 2.
4. Menganalisis nilai *embodied energy* untuk tipe perawatan dinding dengan persamaan 4 berikut:

$$EEP_k = \sum \{bb (I_{bb} \times EE_m)\} \text{ MJkg} \quad (4)$$

Keterangan:

- EEP_k : *Embodied energy* perawatan konstruksi dinding
 bb : Bahan bangunan
 I_{bb} : Indeks bahan bangunan
 Nde : Nilai dasar *embodied energy* bahan bangunan

5. Setelah diperoleh hasil perhitungan *embodied energy* perawatan konstruksi dinding, selanjutnya hasil tersebut dikalikan terhadap durasi perawatan dalam tahun. Periode waktu ditentukan selama 50 tahun perawatan bangunan. Durasi ini sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2007. Nilai EE dapat dihitung dengan persamaan 5 sebagai berikut:

$$EEP_d = \sum Pek (V_k \times EEP_k \times t) \text{ MJ} \quad (5)$$

Keterangan:

- EEP_d : Nilai *embodied energy* perawatan komponen dinding
 Pek : Jenis pekerjaan
 V_k : Volume konstruksi dinding
 EEP_k : Analisa *embodied energy* perawatan konstruksi dinding
 t : Durasi perawatan

6. Melakukan perhitungan besar *embodied energy* per satuan luas bangunan. Perhitungan pada persamaan 6 ini dilakukan untuk mempermudah perbandingan penggunaan *embodied energy* perawatan persatuan volume yang ditentukan.

$$EEPT = \sum EEP_d : LB \text{ MJ/m}^2 \quad (6)$$

Keterangan:

- $EEPT$: Total *embodied energy* perawatan

EEP_d : Nilai *embodied energy* perawatan dinding
LB : Luas total bangunan

2.4 Metode Perhitungan *Embodied Energy* Total Dinding

Untuk mendapatkan total *embodied energy* dinding, tercantum pada persamaan 7 sebagai berikut:

$$EET = EEAT + EEPT \text{ MJ/m}^2 \quad (7)$$

Keterangan:

EET : Total *embodied energy* konstruksi dinding
EEAT : Total *embodied energy* awal dinding
EEPT : Total *embodied energy* perawatan dinding

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perhitungan *Embodied Energy* Awal

Perhitungan yang dilakukan terhadap *embodied energy* awal bangunan melalui tiga fase perhitungan, yaitu: (1) perhitungan nilai *embodied energy* pada pekerjaan awal dengan menghitung indeks bahan bangunan dan nilai dasar *embodied energy*, (2) perhitungan nilai *embodied energy* awal dinding bangunan berdasarkan luas permukaan konstruksi dan (3) penentuan nilai *embodied energy* awal per meter persegi.

Pada Tabel 10, disajikan hasil perhitungan dari nilai *embodied energy* pada pekerjaan awal atau biasanya disebut dengan nilai intensitas energi pekerjaan. Sesuai dengan SNI, jenis pekerjaannya antara lain pasangan dinding, plesteran, acian, serta finishing dalam dan luar. Nilai ini kemudian dikalikan dengan luas bidang pekerjaan untuk mendapatkan nilai total *embodied energy* awal.

Tabel 10. Hasil perhitungan nilai *embodied energy* pada pekerjaan awal

No	EEA _k	Bahan	Indeks	EE _m	Total
1	Pasangan Konstruksi Dinding	Anyaman bambu	0,150	8,50	1,275
		Kayu 5/7	0,014	8,50	0,119
		Paku 4-7 cm	0,120	35,30	4,236
		Multiplek	0,350	16,00	5,600
		Lem kuning	0,640	12,00	7,680
					18,910
2	Lapisan Dinding (Plesteran)	PC	8,320	5,08	42,266
		PP	0,032	5,08	0,163
					42,429
3	Lapisan Dinding (Acian)	PC	3,250	5,08	16,510
					16,510
4	Finishing Dinding (Luar)	Plamir/alkali	0,085	67,55	5,741
		Cat dasar	0,100	67,55	6,755
		Cat penutup 2 kali	0,200	67,55	13,510
					26,006
5	Finishing Dinding (Dalam)	Plamir/alkali	0,010	67,55	0,676
		Cat dasar	0,100	67,55	6,755
		Cat penutup 2 kali	0,200	67,55	13,510
					20,941

Sumber: Analisa Penelitian, 2020

Perhitungan selanjutnya disajikan dalam Tabel 11 secara lengkap. Dari hasil perhitungan dalam Tabel 11 tersebut telah diperoleh nilai 3.889,819 MJ sebagai nilai total *embodied energy* dari sampel bangunan dinding bambu plester dengan luas 16 m².

Tabel 11. Hasil perhitungan nilai *embodied energy* dinding

No	EEA _d	EEA _k	Volume (m ²)	Total
1	Pasangan Dinding	18,910	64-((0.6x3)+(0.81 x 2)+2) = 60,2	1.138,382
2	Lapisan Dinding (Plesteran)	42,429	32-0.81 =31.19	1323,361
3	Lapisan Dinding (Acian)	16,510	32-0.81 =31.19	514,947
4	Finishing Dinding (Luar)	26,006	16-0.81 =15.19	395,031
5	Finishing Dinding (Dalam)	20,941	16-0.81 =15.19	318,098

Sumber: Analisa Penelitian, 2020

Selanjutnya dalam perhitungan nilai tersebut dibagi dengan luas total bangunan. Total *embodied energy* dinding bambu plester di bangunan wisata Kampung Buyut Cipageran per meter persegi adalah 231 MJ/m². Apabila mengacu pada *Australia's Guide to Environmentally Sustainable Homes* bahwa untuk dinding bata konvensional memiliki standar EEAT 440 MJ/m². Nilai ini hampir dua kali lipat dari nilai EEAT dinding bambu plester yang diperoleh dari perhitungan dalam penelitian ini.

3.2 Hasil Perhitungan *Embodied Energy* Perawatan

Perhitungan yang dilakukan terhadap *embodied energy* perawatan bangunan melalui tiga fase perhitungan, yaitu: (1) perhitungan nilai *embodied energy* pada pekerjaan awal dengan menghitung indeks bahan bangunan dan nilai dasar *embodied energy*, (2) perhitungan nilai *embodied energy* awal dinding bangunan berdasarkan luas permukaan konstruksi dan durasi perawatan bangunan dan (3) penentuan nilai *embodied energy* awal per meter persegi. Tabel 12 dan 13 merupakan perhitungan EEPT.

Tabel 12. Hasil perhitungan nilai *embodied energy* per material perawatan dinding

No	EEP _k	Bahan	Indeks	EEm	Total
1	Finishing Dinding (Luar)	Cat penutup	0.100	67,55	6,755
					6,755
2	Finishing Dinding (Dalam)	Cat penutup	0.100	67,55	6,755
					6,755

Sumber: Analisa Penelitian, 2020

Setelah dilakukan perhitungan terhadap EEP_d, diperoleh nilai 205,22 MJ. Nilai ini merupakan hasil perkalian antara nilai EEP_k per masing-masing pekerjaan dengan jumlah total volume pekerjaan. (Lihat Tabel 13)

Tabel 13. Hasil perhitungan nilai *embodied energy* perawatan dinding

No	EEP _a	EEP _k	Volume (m ²)	Total
1	Finishing Dinding (Luar)	6,755	16-0.81 =15.19	102,608
2	Finishing Dinding (Dalam)	6,755	16-0.81 =15.19	102,608
				205,22

Sumber: Analisa Penelitian, 2020

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 45 Tahun 2007, umur bangunan diperhitungkan selama 50 tahun. Oleh karena itu, perhitungan EEP_a bangunan dilakukan selama 50 tahun, sehingga diperoleh nilai 10.260 MJ. Selanjutnya nilai EEPT ditentukan dengan membagi hasil tersebut dengan luas bangunan (16 m²) dan diperoleh 641 MJ/m².

Untuk membandingkan EEPT cenderung sulit dilakukan karena biasanya beberapa penelitian sebelumnya menggunakan standar 30 tahun, 40 tahun (A. Utama & Gheewala, 2009) hingga 50 tahun dari umur bangunan (Huang, dkk, 2017) dengan asumsi batasan yang berbeda-beda.

3.3 Hasil Perhitungan *Embodied Energy* Total

Hasil perhitungan EEA dan EEP kemudian dijumlahkan untuk mengetahui EET, yaitu 231 MJ/m² + 641 MJ/m² = 872 MJ/m². Nilai EEP selama 50 tahun membutuhkan hampir tiga kali lipat dari nilai EEA.

3.4 Pembahasan

Bambu dikenal sebagai tanaman yang dapat tumbuh di berbagai kondisi iklim dan dapat diproduksi dalam waktu yang cukup singkat. Selain itu, bambu sendiri memiliki karakteristik tersendiri jika dibandingkan dengan material lain yang biasa digunakan untuk bangunan. Material bambu sudah digunakan sejak dahulu untuk komponen bangunan khususnya dinding. Saat ini masih dapat ditemukan bangunan dengan dinding bambu atau anyaman bambu di beberapa daerah di Indonesia. Penggunaan material ini memang mulai ditinggal oleh masyarakat sejak adanya bata sebagai bahan bangunan yang lebih *solid* dan *rigid*.

Penggunaan bambu sebagai bahan dasar material dinding kemudian dilakukan pengembangan dengan menambahkan perlakuan tertentu terhadap material tersebut kemudian ditambahkan plester seperti dinding bata pada umumnya. Perlakuan ini tentu membuat dinding bambu lebih *solid* dan *rigid* dan hampir menyamai fungsi dinding batu bata. Penggunaan model dinding seperti ini digunakan dalam proyek rumah singgah di Kampung Buyut Cipageran, Kota Cimahi.

Dalam melakukan metode perhitungan *embodied energy*, diperlukan data-data awal seperti kandungan *embodied energy* per satuan material, indeks pekerjaan konstruksi, dan strategi perawatan. Beberapa data ini diperoleh dari ICE yang dipublikasikan oleh *University of Bath*, SNI dan hasil wawancara dengan pengguna/arsitek. Data yang berasal dari ICE cukup diakui pada beberapa penelitian *embodied energy*. Meskipun begitu, sebagian besar data ini diambil pada aktivitas industri di United Kingdom dan Eropa. Dapat diasumsikan bahwa terdapat perbedaan nilai energi sebenarnya dari aktivitas industri di Indonesia dimana studi kasus dibahas. Di dalam data tersebut, data untuk *embodied energy* dasar material bambu sendiri belum ada dalam ICE, namun penggunaan material bambu yang bersifat lokal dapat diasumsikan sama dengan penggunaan kayu sebagai material bahan bangunan. Material lokal merupakan material yang dapat diperoleh dalam radius kurang lebih 50 km.

Dari perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa data EE yang terkandung dalam dinding bambu plester pada bangunan di Kampung Buyut Cipageran. Nilai EEAT adalah 231 MJ/m² dan Nilai EEAPT adalah 641 MJ/m². Berdasarkan beberapa kajian yang dilakukan oleh beberapa instansi dan lembaga bangunan hijau menunjukkan bahwa nilai EEAT merupakan nilai yang dijadikan standar dalam perhitungan *embodied energy* karena perhitungannya dalam satuan meter persegi. Mengacu pada *Australia's Guide to Environmentally Sustainable Homes* bahwa untuk dinding bata konvensional memiliki standar EEAT 440 MJ/m². Nilai ini hampir dua kali lipat lebih besar dibandingkan penggunaan material bambu sebagai bahan dasar dinding plester. Pada referensi penelitian lain, penggunaan dinding bata tanah liat dapat mencapai 791 MJ/m² (Hashemi, Cruickshank, & Cheshmehzangi, 2015). Penelitian tersebut juga menggunakan data ICE yang terbaru dari Hammond & Jones (2011). Perbandingan yang dilakukan memang belum 100% akurat dikarenakan strategi pemenuhan kebutuhan material dari pembuatan, transportasi dan operasional yang berbeda di hampir setiap negara. Penilaian yang dilakukan sudah cukup membuktikan bahwa dinding bambu plester membutuhkan energi yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan dinding bata konvensional. Dengan isu penggunaan energi yang semakin meningkat, khususnya dalam sektor bangunan, maka penggunaan dinding bambu plester dapat menjadi solusi dalam menjawab isu tersebut.

Dari hasil penelitian, dapat diketahui potensi yang dapat dikembangkan oleh dinding bambu plester ini untuk meminimalisir konsumsi energi pada dinding bangunan. Bukan hanya dalam rangka penurunan energi, dinding bambu juga dapat menghemat biaya sebesar 31,17% berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Marzuki (2019). Bisa jadi dimasa depan, dinding bambu ini juga dapat dikembangkan secara prefabrikasi seperti yang telah disebutkan oleh Suriani (2017). Meskipun begitu, harus diakui bahwa perlu adanya penelitian yang lebih mendalam yang dapat menghubungkannya dengan unsur lain seperti ketahanan terhadap cuaca, termal dan lain-lain seperti yang dilakukan oleh (Utama, 2006). Terlepas dari hal diatas, penggunaan dinding bambu dapat dikembangkan lebih masif dan terkontrol juga sejalan dengan semangat menjaga dan melestarikan alam seperti semangat dari Kampung Buyut Cipageran.

4. Kesimpulan

Bangunan dengan dinding bambu, baik anyaman dan plester, memiliki nilai *embodied energy* awal sebesar 261 MJ/m² dan nilai *embodied energy* perawatan selama 50 tahun sebesar 641 MJ/m². Nilai *embodied energy* awal lebih rendah dibandingkan *embodied energy* dinding bata konvensional dengan nilai 440 MJ/m². Dinding bambu dapat menjadi solusi untuk masalah penggunaan energi yang besar pada sektor bangunan dan meningkat setiap tahunnya.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih untuk Bapak Ir. Pon. S. Purajatnika, IAI dari PT. Awi Agraprana Bestari sebagai arsitek pelaksana pekerjaan atas data-data yang telah diberikan.

6. Referensi

- Ampofo-Anti, N. (2010). Material selection and embodied energy 1. *Green Building Handbook South Africa: The Essential Guide, Alive2green, 3*, 1–10.
- Anonym. (2014). Methodology to the CO2 Calculations: Embodied Energy of Single Material Type. Sustainable Geosystem in Civil Engineering Application.
- Dixit, M. K, Fernandez-Solis, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2010). Protocol for Embodied Energy Measurement Parameters. Retrieved from http://immobilierdurable.eu/images/2128_uploads/___Dixit.pdf
- Dixit, Manish K. (2017). Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79*, 390–413.

<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.05.051>

- Dixit, Manish 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>
- Ferdelina, Hena S. (2016). Laporan Praktik Industri Proyek Kampung Buyut Cipageran. UPI: Laporan Praktik Industri.
- Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, 161(2), 87–98. <https://doi.org/10.1680/ener.2008.161.2.87>
- Hammond, Geoff, & Jones, C. (2008). *Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 1.6a*. United Kingdom. Retrieved from www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/
- Hammond, Geoffrey, & Jones, C. (2011). *A BSRIA guide: Embodied Carbon: The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. (F. Lowrie & P. Tse, Eds.). United Kingdom: BSRIA BG & University of Bath. Retrieved from www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/
- Hanifah, Y., Reztrie, N. D., Ramadhan, T., & Larasati, D. (2019). Evaluation of Material Selection on the Initial Embodied Energy Value of Low-Middle Apartment in Indonesia. In SBE_Tokyo (Ed.), *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 294). Tokyo: IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/294/1/012036>
- Hashemi, A., Cruickshank, H., & Cheshmehzangi, A. (2015). Environmental Impacts and Embodied Energy of Construction Methods and Materials in Low-Income Tropical Housing. *Sustainability*, 7(June), 7866–7883. <https://doi.org/10.3390/su7067866>
- Huang, L., Liu, Y., Krigsvoll, G., & Johansen, F. (2017). Life cycle assessment and life cycle cost of university dormitories in the southeast China: Case study of the university town of Fuzhou. *Journal of Cleaner Production*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.021>
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L., & Acquaye, A. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings - A review of current trends. *Energy and Buildings*, 66, 232–245. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2007). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 45/PRT/M/2007 Tentang Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara.
- Larasati, D., Wahyuni, Y. S., Suhendri, & Triyadi, S. (2017). Embodied Energy 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>
- Marzuki, I. (2019). Analisis Penggunaan Bambu Plester Terhadap Penurunan Biaya. *Jurnal Ilmiah Techno Entrepreneur Acta*, 4(December), 117–123.
- Nairobi (1991). Energy for Building – Improving Energy Efficiency in Construction and in the Production of Building Materials in Developing Countries. Journal United Nations Centre for Human Settlements (Habitat).
- Pratiwi, Sri N. (2014). Kajian Embodied Energy Dinding Pada Berbagai Tipe Rumah Susun. ITB: Tesis.
- Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42(10), 1592–1600. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>
- Sabaruddin, A., Karyono, T. H., & Tobing, R. (2011). Model Perhitungan Kandungan Emisi CO2 Pada Bangunan Gedung. CO2 Emission Greenhouse Gas Effect and Global Warming Building Energy.
- Sentzas, K., Tsiamitros, D., Stephanedes, Y. J., & Cities, S. (2017). A hybrid life cycle analysis method for the environmental assessment of conventional building materials. In *6th International Conference "ENERGY in BUILDINGS 2017"*. Athens, Hellas: ASHRAE Hellenic Chapter.
- Standar Nasional Indonesia. (2002). *SNI 03-6897-2002 Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan pasangan dinding*. (Badan Standardisasi Nasional, Ed.). Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2008a). *SNI 2837:2008 Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan plesteran untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan*. (Badan Standardisasi Nasional, Ed.). Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2008b). *SNI 6897:2008 Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan dinding untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan*. (Badan Standardisasi Nasional, Ed.). Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2008c). *SNI 7395:2008 Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan penutup lantai dan dinding untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan*. (Badan Standardisasi Nasional, Ed.). Badan Standardisasi Nasional.
- Surahman, U., Kubota, T., & Higashi, O. (2015). Life Cycle Assessment of Energy and CO2 Emissions for Residential Buildings in Jakarta and Bandung, Indonesia. *Buildings*, 5(4), 1131–1155.

<https://doi.org/10.3390/buildings5041131>

- Suriani, E. (2017). Bambu Sebagai Alternatif Penerapan Material Ekologis : Potensi dan Tantangannya. *EMARA Indonesian Journal of Architecture*, 3(1), 33–42.
- Ting, S. K. (2006). *Optimisation of Embodied Energy in Domestic Construction*. RMIT University. <https://doi.org/10.2749/222137804796302671>
- Treloar, G. J. (1998). *A Comprehensive Embodied Energy Analysis Framework*. Faculty of Science and Technology, Deakin University.
- Utama, A., & Gheewala, S. H. (2009). Indonesian residential highrise buildings: A life cycle energy assessment. *Energy and Buildings*, 41(11), 1263–1268. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.07.025>
- Utama, N. A. (2006). Embodied Energy of Building Envelopes and its Influence on Cooling Load in Typical Indonesian MiddleClass Houses. In *The 2nd Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)* (pp. 1–5). Bangkok, Thailand.
- Utama N. A, dkk., (2008): Life Cycle Energy of Single Landed Houses in Indonesia, *Energy And Buildings*. *Journal Energy Buildings*, 40, 1911-1916.
- Wahyuni, Y. S., & Larasati, D. (2017). Identifikasi Nilai Embodied Energy sebagai Upaya Mitigasi Energi dalam perencanaan Bangunan. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 6(50), 9–15.
- Waqas, A., & Ud Din, Z. (2013). Phase change material (PCM) storage for free cooling of buildings - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.034>
- Zhang, X., & Wang, F. (2016). Assessment of embodied carbon emissions for building construction in China: Comparative case studies using alternative methods. *Energy and Buildings*, 130, 330–340. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.080>