



# ARCADE JURNAL ARSITEKTUR

p-ISSN: 2580-8613 (Cetak)

e-ISSN: 2597-3746 (Online)

<http://jurnal.universitaskebangsaan.ac.id/index.php/arcade>



## ANALISIS ENERGI PADA BERBAGAI MATERIAL DINDING (BATA, BATAKO DAN BATA RINGAN)

Sri Novianthi Pratiwi<sup>1</sup>,

Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti

E-mail : [srinovianthi@trisakti.ac.id](mailto:srinovianthi@trisakti.ac.id)

### Informasi Naskah:

Diterima:

31 Juli 2020

Direvisi:

16 Agustus 2020

Disetujui terbit:

22 Oktober 2020

Diterbitkan:

Cetak:

29 November 2020

Online

15 November 2020

**Abstract:** In building design, the selection of building materials is one aspect that needs to be considered. Building materials are components that require energy in the manufacturing process. In the process of building material production, the use of energy at each stage becomes one of the parameters of CO<sub>2</sub> carbon emission levels. The higher the use of fossil energy, the higher the CO<sub>2</sub> emissions and the risk of causing global warming. Bricks, concrete blocks, and lightweight bricks are the types of materials commonly used to make building walls. The selection of wall materials is still largely related to price or aesthetic considerations, but the assessment of the level of environmental friendliness is still lacking in attention. This study tries to analyse the life cycle of energy in wall materials (bricks, concrete blocks and lightweight bricks). From the research results obtained, concrete block is the lowest material in the use of production energy.

**Keyword:** *life cycle energy analysis, embodied energy, brick, concrete block, lightweight brick*

**Abstrak:** Dalam desain bangunan, pemilihan material menjadi salah satu aspek yang perlu dipertimbangkan. Material bangunan merupakan komponen bangunan yang dalam proses pembuatannya mengonsumsi energi. Dalam proses produksi material bangunan, penggunaan energi di setiap tahapannya menjadi salah satu parameter tingkat emisi karbon CO<sub>2</sub>. Semakin tinggi penggunaan energi fosil yang maka emisi CO<sub>2</sub> akan semakin yang tinggi dan beresiko menyebabkan pemanasan global. Bata, batako, dan bata ringan merupakan jenis-jenis material yang umum digunakan untuk membuat dinding bangunan. Pemilihan bahan dinding tersebut sebagian besar masih terkait pertimbangan harga atau estetika, tetapi penilaian akan tingkat ekologisnya masih kurang diperhatikan. Penelitian ini mencoba menganalisis besar energi pada material-material dinding (batu bata, batako dan bata ringan). Dari hasil penelitian yang diperoleh, batako merupakan bahan yang paling rendah dalam penggunaan energi produksinya.

**Kata Kunci:** Analisis energi, embodied energi, bata, batako, bata ringan

### PENDAHULUAN

Masalah krisis energi sudah menjadi pembahasan dunia sejak tahun 1973 (Putri FDE, 2014). Menurut *United Nations Environment Programme* (2010) diketahui bahwa sektor bangunan mengonsumsi 40% dari total energi global. Selain terancamnya sumber energi, emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari penggunaan energi sektor bangunan tersebut merupakan salah satu penyebab pemanasan global (Kobayashi, 2004; Kurdi SZ, 2008). Berdasarkan hasil studi-studi tersebut menunjukkan bahwa bangunan berkontribusi terhadap emisi CO<sub>2</sub>.

Selama usia pakainya, bangunan akan mengonsumsi energi, atau dikenal sebagai siklus energi bangunan (*life cycle energy building*). Konsumsi energi pada bangunan dibagi menjadi dua kategori, yaitu operasional energi dan embodied energi (Dixit, 2009; Azari, 2019). Umumnya perhatian konsumsi energi pada bangunan terfokus pada penggunaan energi operasional, antara lain

energi untuk: HVAC, pencahayaan, alat elektronik, dll. Sedangkan energi embodied yang terkait dengan material dampaknya masih belum diperhatikan. Embodied energi merupakan konsumsi energi awal dari siklus suatu bangunan. Besarnya embodied energi tidak dapat diubah, berbeda dengan energi operasional bangunan yang besar konsumsinya masih dapat dikendalikan selama bangunan digunakan. Embodied energi (EE) dinyatakan sebagai sejumlah energi yang digunakan ketika proses produksi material bangunan (Sabaruddin, 2008).

Material merupakan elemen penting dalam ketika membangun suatu bangunan. Sektor material bangunan merupakan sektor terbesar kedua setelah sektor industri makanan yang menghabiskan sumber daya mentah (Berge, 2009). Selama proses produksi material bangunan, di antaranya: pengambilan bahan mentah, ekstraksi, produksi, transportasi, konstruksi, hingga penghancuran, akan

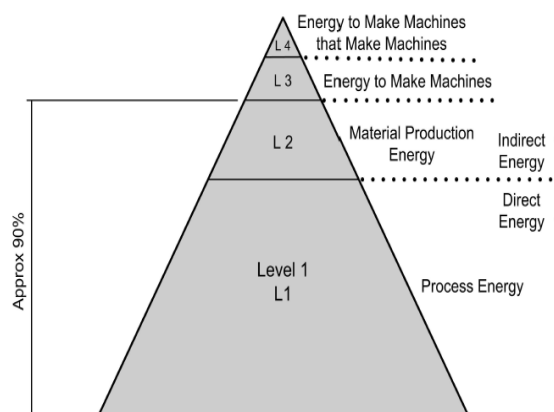
mengonsumsi energi sekaligus menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>. Industri semen diketahui dapat menghasilkan emisi yang tinggi ke lingkungan, hampir 5-7% total emisi CO<sub>2</sub> dihasilkan dari pabrik pembuatan semen. Sektor material besi dan baja mengemisikan 11% CO<sub>2</sub> selama proses produksinya. Lebih dari 5% generator listrik digunakan untuk memproduksi aluminium (Benhelal et al., 2013). Proses kiln dalam pembuatan batu bata menjadi sumberi polusi udara di belahan Asia selatan & Cina, dan menyumbang emisi gas rumah kaca sebesar 1,4% (Kapoor, 2017). Banyak jenis sumber energi yang bisa digunakan untuk memproduksi material bangunan, dan dari penggunaan energi tersebut tentu akan menghasilkan nilai emisi yang berbeda. Energi listrik yang berasal dari minyak dapat menghasilkan emisi sebesar 540 gr CO<sub>2</sub> setiap kWh (Fatiah, 2008). Sedangkan energi listrik yang berasal dari proses pembangkit tenaga uap dengan batu bara sebagai bahan bakar dapat menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 940 gr CO<sub>2</sub> per kWh (Fatiah 2008).

Dalam mewujudkan konsep bangunan hijau, sumber dan siklus material menjadi salah satu aspek penting yang harus diperhatikan, hal tersebut dapat dilihat dalam pedoman penilaian bangunan hijau (GreenShip, LEED, Greenmark) yang memasukkan sumber dan siklus material sebagai parameter penilaian bangunan hijau. Oleh karena itu sektor konstruksi dan bangunan diharapkan mampu memperbaiki keadaan dengan menjunjung prinsip keberlanjutan melalui penggunaan material yang ramah lingkungan. Pemilihan material bangunan penggunaan energi yang digunakan untuk proses produksinya, akan lebih baik jika memilih material yang menggunakan energi sesedikit mungkin dalam proses produksinya (Gonzalez et al., 2014). Oleh karena itu kriteria pemilihan material bangunan yang ramah lingkungan dapat dikaji berdasarkan energi produksinya.

Dinding merupakan elemen bangunan yang embodied energi materialnya tinggi. Hal ini dibuktikan dari beberapa penelitian yang membahas embodied energi dinding dibandingkan dengan elemen bangunan lain (Ting, 2016; Wahyuni YS et al., 2017). Pembuktian menunjukkan bahwa pemilihan material dinding yang rendah embodied energinya akan lebih baik jika dipertimbangkan sejak tahap desain (Wahyuni, YS et al., 2017). Di Indonesia bata merah, batako dan bata ringan adalah material dinding yang paling populer digunakan oleh masyarakat. Banyak penelitian yang membahas evaluasi material-material tersebut dari segi efisiensi pekerjaan maupun biaya (Goritman et al, 2012; Trijeti, 2017) dan umumnya preferensi masyarakat dalam memilih material dinding dipengaruhi oleh aspek biaya. Kurangnya informasi ke masyarakat maupun arsitek mengenai dampak lingkungan dari sebuah proses produksi material dapat menjadi penghambat dalam mewujudkan arsitektur yang berkelanjutan.

*Life Cycle Energy Analysis* (LCEA) merupakan bagian dari studi Penilaian Daur hidup *Life Cycle*

*Assesment* (LCA). LCEA adalah pendekatan yang menghitung seluruh energi yang digunakan pada seluruh siklus pembuatan material, yang meliputi konsumsi energi pada fase manufaktur, penggunaan dan penghancuran (Ramesh et al., 2010). Dalam proses analisis (*process based*) energi suatu produk akan dilihat mundur ke belakang hingga ke proses sumber awal.



**Gambar 1.** Proporsi input energi pada produksi material

Sumber : IPCC, 2006

Dapat terlihat pada Gambar 1 bahwa dalam total energi dalam pembuatan material, proporsi energi proses (level 1) dan energi produksi material (level 2) menyumbang 90% (Hammod et al., 2008). Hal ini menunjukkan bahwa dalam analisis siklus energi, besar energi yang digunakan pada saat produksi suatu material adalah paling signifikan untuk ditelaah lebih lanjut. Yang di mana pada energi proses dan energi produksi dipengaruhi oleh dua konten energi yaitu energi langsung (*direct*) dan energi yang tidak langsung (*indirect*).

Penelitian ini akan menganalisis energi produksi dari ketiga jenis material dinding tersebut yaitu, bata, batako dan bata ringan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui material mana yang paling rendah konsumsi energi produksinya, sehingga dalam pemilihan material dinding yang lebih rendah energinya dapat mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan pembangunan. Selain itu dengan mengetahui konsumsi energi di setiap tahapan produksi material maka pada tahapan yang mengonsumsi energi paling tinggi diharapkan dapat dilanjutkan dengan upaya perbaikan maupun penyesuaian metode produksi agar dapat mengurangi produksi emisi CO<sub>2</sub>.

## TINJUAN PUSTAKA

### Analisis Energi pada Material bangunan

Analisis energi dilakukan untuk menghitung seluruh energi yang digunakan pada seluruh siklus pembuatan material. Perhitungan penggunaan energi pada tahapan produksi material juga dilakukan pada studi penilaian daur hidup LCA (*life cycle assessment*) maupun studi Embodied energi pada *Life Cycle Energy* bangunan. *Life cycle*

Assement (LCA) dilakukan untuk menghitung dan mengevaluasi dampak lingkungan dari daur hidup material (LCA) (Huberman et al., 2008). Terdapat 4 (empat) peninjauan daur hidup yang dapat di kaji dalam analisis LCA.

1. *Gate to Gate*, peninjauan daur hidup dari alur terpendek dari produksi
2. *Cradle to gate*, peninjauan daur hidup dari dari awal material mentah hingga batas siap untuk dijual ke konsumen atau sebelum digunakan.
3. *Cradle to grave*, peninjauan daur hidup dari hulu produksi mulai dari material mentah hingga penggunaan
4. *Cradle to cradle*, peninjauan daur hidup dari material mentah hingga proses daur ulang

Pada analisis energi terdapat empat langkah yang dilakukan ketika melakukan tinjauan energi melalui daur hidup dari suatu material. Tahapan tersebut mengacu kepada ISO Standar 14040 mengenai manajemen lingkungan (Huberman et al., 2008). Langkah tersebut terdiri dari : (1) Tujuan & Definisi Ruang Lingkup (*Goal & Scope Definition*) ; (2) Inventaris Siklus Hidup (*Life Cycle Inventory*); (3) Penilaian dampak (*Impact Assesment*); (4) Interpretasi (*Interpretation*). Empat langkah metodologi LCA ini dapat diterapkan secara khusus untuk analisis energi pada siklus material dengan menggunakan energi sebagai ukuran dampak lingkungan (Huberman et al., 2008). Cara ini tidak menggantikan metode penilaian lingkungan LCA yang lebih luas, tetapi memfasilitasi pengambilan keputusan mengenai efisiensi energi.

Dalam studi embodied energi, Energi pada produksi material adalah Energi yang dibutuhkan pada proses menggali atau mengambil material mentah, pemurnian, pengolahan, dan berbagai tahapan transportasi yang mendukung kegiatan produksi hingga menjadi material jadi (Beige, 2000). Beberapa negara seperti Inggris, Amerika, dan New Zeland sudah mengeluarkan dokumen data embodied energi dan emisi karbon material-material bangunan. Data tersebut menjadi acuan bagi para perancang bangunan untuk mendapatkan informasi material bangunan yang ramah lingkungan. Beberapa nilai koefisien embodied energi material yang banyak digunakan dalam penelitian, antara lain dipublikasikan oleh *Inventory of Carbon and Energy* (ICE) oleh Hammoud dan Jones (2008), Braid dan Chan (1983), serta Bikas dan Milonas (1999). Database tersebut sering juga digunakan pada penelitian yang menganalisis energi pada material bangunan, akan tetapi jika database tersebut digunakan untuk wilayah Indonesia belum dapat memastikan nilai yang tepat. Nilai embodied energi sangat dipengaruhi oleh teknologi lokal setempat dan jarak transportasi yang digunakan saat memproduksi material (Huberman, 2007).

Indikator energi dalam produksi material menjadi aspek penting dalam menentukan material ramah lingkungan. Aspek-aspek yang perlu diperhatikan sebagai kategori material bangunan ramah lingkungan adalah (Suriani, 2017):

1. Menggunakan energi sesedikit mungkin dalam proses eksploitasi sumber bahan mentah dan produksi
2. Tidak mengalami perubahan/ transformasi yang tidak dapat dikembalikan ke alam
3. Dalam eksploitasi, produksi, penggunaan, dan pemeliharaan material bangunan tidak mencemari lingkungan
4. Berasal dari sumber alam lokal (dekat)

Untuk jenis energi yang digunakan selama produksi material di antaranya, bahan bakar yang digunakan untuk menjalankan alat mesin produksi dan alat transportasi seperti listrik, bensin, batu bara, gas alam, LPG dan lain sebagainya. Nilai energi yang digambarkan melalui nilai kalor dari satuan massa bahan bakar yang dihasilkan dari pembakaran setiap satuan massa bahan bakar (*calorific value*) yang dikeluarkan oleh IPCC (*Intergovernmental Panel of Climate Change*).

**Tabel 1.** Nilai Kalor satuan massa bahan bakar

Jenis bahan bakar	Berat Jenis (Kg/Liter)	Calorific Value	
		GJ/Mg	MJ/ltr
Minyak Mentah	0,847	42,30	35,83
Solar	0,837	43,00	35,99
Batu Bara		25,80	

Sumber : IPCC, 2006

Semua nilai energi dinyatakan dalam istilah energi primer, menggunakan satuan umum GJ atau MJ. Sesuai dengan langkah inventaris data pada analisis LCA, maka untuk membantu dalam perhitungan energi maka input data yang harus dikumpulkan antara lain informasi mengenai: kebutuhan bahan baku, energi/kelistrikan, air, dan alat transportasi yang digunakan (Harjanto, 2012).

#### Energi Produksi Material

Menurut Cole (1999) energi pada proses produksi merupakan energi yang paling besar mempengaruhi embodied energi awal. Proses produksi yang dimaksud antara lain berkaitan dengan tahapan pada kegiatan industri untuk produksi material. Energi yang dibutuhkan pada proses menggali atau mengambil material mentah, pemurnian, pengolahan, dan berbagai tahapan transportasi yang mendukung kegiatan produksi hingga menjadi material jadi (Beige, 2000). Untuk jenis energi yang digunakan di antaranya, bahan bakar yang digunakan untuk menjalankan alat mesin produksi dan alat transportasi seperti listrik, bensin, batu bara, gas alam, LPG dan lain sebagainya.

#### Energi Penggunaan Alat

Estimasi dalam konsumsi energi bahan bakar dalam penggunaan mesin dan alat konstruksi adalah bahan bakar solar (diesel fuel) yang mengandung karbon (86,4%), hidrogen 12,7%, sulfur (0,4-1,5%), oksigen dan nitrogen (0,2%), serta kandungan sedimen dan air (Wirahadikusuma, dkk, 2012). Asumsi nilai energi digambarkan melalui nilai kalor dari satuan massa bahan bakar yang dihasilkan dari

pembakaran setiap satuan massa bahan bakar (*calorific value*) yang dikeluarkan oleh IPCC (*Intergovernmental Panel of Climate Change*).

Satuan *calorific value* didapatkan dari satuan energi dibagi satuan massa bahan bakar, sebagai contoh satuan energi Giga Joule (GJ) per mega gram (Mg) dan Mega Joule (MJ) per liter (Liter). Angka estimasi tersebut digunakan untuk menghitung konversi energi dan penggunaan bahan bakar solar dan batu bara.

Jenis energi alternatif limbah lain yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar pembakaran adalah sekam padi, diketahui bahwa untuk volume 1 ton sekam padi dapat menghasilkan energi setara dengan 410-570 kWh (<http://www.bioenergiconsult.com>).

### Energi Pekerja

Energi pekerja merupakan energi biologis atau pengeluaran energi manusia ketika melakukan pekerjaan tertentu. Penilaian besar pengeluaran energi pekerja dapat dilihat pada beban kerja berdasarkan tingkat kebutuhan kalori menurut pengeluaran energi. Standar perhitungan menetapkan prinsip penilaian, peralatan penilaian dan prosedur kerja penilaian, pengukuran berat badan, pengamatan aktivitas tenaga kerja dan perhitungan beban kerja tenaga kerja di tempat kerja panas atau tempat kerja lainnya.

Dalam proses pembuatan material energi pekerja dipengaruhi oleh beban kerja pekerja tersebut dan kondisi fisiknya (berat badan pekerja tersebut). Berdasarkan SNI Penilaian beban kerja berdasarkan tingkat kebutuhan kalori menurut pengeluaran energi (SNI 7269:2009).

### Energi Transportasi

Energi yang digunakan untuk transportasi secara langsung dipengaruhi oleh jarak pengiriman dan jenis mode transportasi. Besar energi yang dikonsumsi pada beberapa jenis tipe transportasi dapat terlihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai konsumsi energi pada berbagai tipe transportasi

Tipe Transportasi	MJ/Ton km
Transportasi udara	33-36
Transportasi darat (diesel)	0,8 -2,2
Transportasi rel (diesel)	0,6- 0,9
Transportasi rel (listrik)	0,2- 0,4
Transportasi air	0,3-0,9

Sumber: Berge (2000)

Semakin jauh jarak pengiriman material maka akan semakin besar konsumsi energinya. Pada kasus material yang dikirim lintas negara, pengaruh energi transportasi akan sangat besar mempengaruhi gambaran besar energi pada produksi material.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dengan cara melakukan inventory data seperti yang dilakukan pada analisis LCA. Teknis pengambilan data lapangan dilakukan dengan wawancara, dokumentasi. Selanjutnya data diidentifikasi

menggunakan metode analisis energi, yaitu analisis proses.

Perhitungan energi dilakukan pada tahapan produksi dan proses material, yang diasumsikan bahwa pada tahapan tersebut konsumsi energi sebesar 90 % dari total pemakaian energi dalam pada siklus material.

Variabel yang menjadi dasar pencarian data terdiri variabel bebas: sumber energi input pembuatan material yaitu: energi langsung (listrik, bahan bakar), energi pekerja (tenaga manusia), jenis alat, jam kerja dan variabel terikat : tahapan pembuatan material dinding: (pencampuran, pemotongan, pengeringan, pembakaran), emisi CO<sub>2</sub> setiap tahapan proses.

Estimasi konsumsi energi pada proses produksi material menggunakan rumus berdasarkan panduan IPCC pada Persamaan (1).

$$\text{Konsumsi Energi} =$$

$$\frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar (liter)} \times \text{Caloric Value} \frac{\text{MJ}}{\text{Liter}}}{\text{Total Produksi (kg)}}$$

Sumber: Wirshadikusuma, dkk (2012)

Dengan rumus persamaan (1) akan diperoleh nilai estimasi konsumsi energi dalam tahapan produksi material batu bata, batako dan bata ringan. Satuan nilai untuk konsumsi energi produksi yang akan digunakan adalah MJ/bh.

Menghitung besar energi pekerja adalah sebagai berikut :

$$\text{Rata-Rata Beban Kerja} =$$

$$\frac{(\text{BK}_1 \times \text{T}_1) + (\text{BK}_2 \times \text{T}_2) + \dots + (\text{BK}_n \times \text{T}_n)}{(\text{T}_1 + \text{T}_2 + \dots + \text{T}_n)} \times 60 \text{ kkal/jam}$$

Keterangan :

BK = Beban Kerja Per Jam

BKn = Beban Kerja Sesuai Aktivitas kerja

T = Waktu Kerja (Menit)

MB = Berat Badan dalam (kg) x 1 kkal per jam

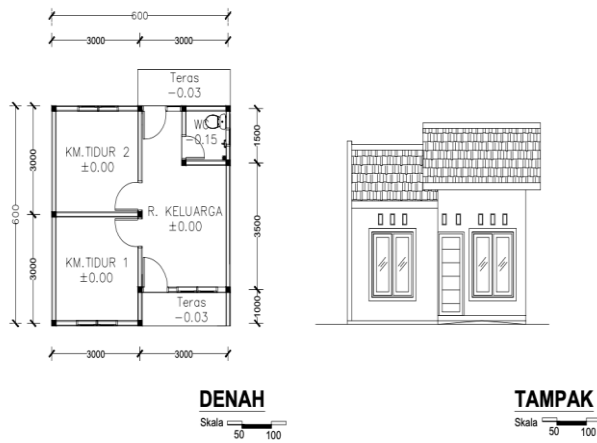
\*Total BK = Rata-rata BK + MB

Sumber : SNI 7269:2009

Dengan rumus menghitung rata-rata beban kerja akan didapatkan nilai energi pekerja. Satuan energi pada pekerja yang akan digunakan adalah kkal/jam.

### Studi Kasus

Selain melakukan perhitungan energi dari setiap tahapan pembuatan material dinding, pada penelitian ini juga akan dilakukan perhitungan gambaran embodied energi pada tipe bangunan rumah tinggal. Selanjutnya hasil perhitungan dibandingkan berdasarkan penggunaan tiga tipe material dinding, yaitu bata merah, batako dan bata ringan yang telah dihitung nilai analisis energinya. Tipe bangunan rumah tinggal yang dipilih adalah tipe bangunan rumah tinggal 36 m<sup>2</sup>. Tipe tersebut dipilih berdasarkan anjuran dari dinas perumahan yang menganjurkan bahwa standar rumah sehat yang dianjurkan oleh PUSKIM (Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman) memiliki luasan 36 m<sup>2</sup>. Desain bangunan rumah tinggal yang menjadi studi kasus dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Desain bangunan rumah tinggal tipe 36  
Sumber : Penulis



**Gambar 3.** Proses produksi bata merah  
Sumber : Penulis

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Batu Bata

Analisis energi pada batu bata dianalisis sejak eksploitasi material bahan baku untuk pembuatannya. Salah satu bahan baku utama dalam pembuatan batu bata ini adalah tanah merah. Pada batu bata yang diproduksi yang di wilayah Sapan, tanah merah didapatkan dari hasil proses penggalian tanah di pinggiran sungai Citarum, Jawa Barat. Gambaran energi paling besar dalam proses pengumpulan bahan baku digambarkan dengan metode penggalian tanah dengan teknik manual dengan menggunakan tenaga manusia.

Dalam tahapan transportasi bahan baku ke tempat produksi material, diketahui bahwa bahan baku tanah merah dikirim langsung dari daerah Citarum, Jawa Barat dengan menggunakan alat transportasi perahu motor sejauh ± 100 km menuju daerah Sapan, Bandung Jawa Barat. Energi yang paling besar digunakan dalam proses transportasi ini adalah diesel atau solar. Pada proses transportasi menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>.

Dalam proses produksinya diketahui bahwa pembuatan batu bata merah tersebut tidak menggunakan alat-alat besar, alat utama yang digunakan adalah mesin yang langsung berfungsi sebagai alat pencampur, pencetak dan potong. Satu alat dengan konsumsi solar 20 liter akan menghasilkan 5000 buah. Alat tersebut menggunakan sumber energi berupa solar dengan volume 20 liter per hari dan dalam pengoperasiannya menggunakan tenaga manusia (energi biologis) sebanyak 2 orang.

Pada tahapan pengeringan tenaga manusia menjadi yang utama dalam proses pengerjaannya. Batu bata merah yang sudah dipotong kemudian dipindahkan ke area penjemuran yang ada di gudang, batu bata diangkut dan ditata secara manual oleh dua pekerja. Pada proses pembakaran batu bata akan diangkut ke area pembakaran secara manual oleh pekerja dan selanjutnya proses pembakarannya menggunakan teknik pembakaran tradisional dengan menggunakan sekam padi.

### • Energi Produksi

#### Energi Alat

$$\frac{15 \text{ liter} \times 35,99 \frac{\text{MJ}}{\text{Liter}}}{5000 \text{ bh}} = 0,10797 \sim 0,10 \text{ MJ/bh}$$

### • Energi Pembakaran

1 karung sekam padi = 9 kg

20000 bh bata = 150 karung sekam padi

Energi Sekam Padi = 3300 kcal/kg

$$\frac{1350 \text{ kg} \times 3300 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}}}{20000 \text{ bh}} = 222,75 \text{ kcal/bh}$$

222,75 kcal/bh = 0,93 MJ/bh

### • Energi Pekerja

**Tabel 3.** Total energi pekerja pembuatan bata

Pekerjaan	Beban kerja per jam (Bk)	T (jam)	Rata-Rata Beban Kerja	Total Bk (kkal/jam)
<b>Pencampuran bahan baku</b>	3.50	8.00	210.00	280.00
<b>Cetak dan Potong</b>	2.55	8.00	153.00	223.00
<b>Pengeringan</b>	3.85	8.00	231.00	301.00
				<b>804.00</b>

Proses pembakaran menggunakan sekam padi dengan durasi pembakaran selama 15 hari. Volume penggunaan sekam padi dalam memproduksi 20.000 buah bata adalah sebanyak 150 karung dengan berat 1 karung 7-10 kg. Proses pembakaran sekam padi diketahui merupakan tahapan produksi yang paling banyak menghasilkan CO<sub>2</sub> ke lingkungan.

• **Energi Transportasi**

Pengiriman bahan baku : Menggunakan perahu  
 Jarak transportasi : 100 km  
 Besar energi transportasi air : 0,3-0,9 MJ /km  
 Total Energi Pengiriman : 100 km x 0,3 MJ/ton km = 30 MJ/ton

**Batako**

Pabrik material batako yang menjadi objek penelitian merupakan pabrik batako dengan tingkat produksi menengah. Produksi batako dilakukan dalam dua teknik, yaitu teknik menggunakan mesin, dan manual. Dalam produksinya, metode menggunakan mesin memproduksi 2000 buah batako, sedangkan dengan teknik manual menghasilkan 500 buah batako. Alat-alat utama untuk memproduksi dengan metode teknik mesin adalah mesin aduk dan mesin cetak yang menyatu dengan alat potong. Pengoperasian alat menggunakan energi listrik dan sebagian menggunakan energi biologis. Besar energi listrik yang digunakan digambarkan dengan penggunaan listrik sistem token dengan harga Rp. 500.000,- / minggu atau setara dengan 332,73 Kwh.

Tahapan awal pembuatan batako adalah pencampuran bahan-bahan pasir, semen, dan air dengan penggunaan mesin *mixer* (Gambar 4.2.a). Mesin *mixer* yang digunakan mempunyai kapasitas 250 kg. Pengorasan menggunakan tenaga mesin dinamo motor listrik 7,5 HP dan tenaga manusia ± 3 orang, dengan tugas memasukkan bahan ke dalam mesin *mixer*.

Tahapan selanjutnya adalah proses cetak. Pada proses cetak bahan yang sudah tercampur dari mesin *mixer* kemudian keluar dan ditampung. Setelah ditampung dilanjutkan dengan proses pemindahan bahan yang sudah tercampur ke alat cetak menggunakan energi biologis manusia. Untuk tahapan produksi dapat terlihat pada gambar 4.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.** Proses produksi batako  
 Sumber : Penulis

Setelah proses pencetakan dilanjutkan dengan proses pengeringan. Dalam proses pengeringan batako tidak memerlukan pembakaran. Batako yang sudah dicetak hanya dibekukan, disusun pada area gudang dan harus menghindari cahaya matahari. Cahaya matahari akan memberikan pengaruh karena dapat mengurangi tingkat kekuatan batako. Dalam proses pengeringan batako energi yang digunakan adalah energi biologis yaitu, pekerja yang bertugas untuk mengangkat dan menata batako untuk dikeringkan di gudang. Proses tambahan lain yaitu proses *curing* (membasahi batako agar tetap beku), proses ini juga dilakukan oleh pekerja.

• **Energi Produksi**

**Energi Alat**

Konsumsi listrik untuk penggunaan alat 332,73 Kwh = 1197,83 MJ  
 Asumsi 80 % penggunaan listrik untuk pengerjaan  
 1197,83 MJ x 80% = 958,26 MJ  
 1 minggu = 2000 bh x 5 = 10000 buah batako  
 $\frac{958,26 \text{ MJ}}{10000 \text{ bh}} = 0,09582 \sim 0,01 \text{ MJ/bh}$

Total Energi = Energi alat  
 = 0,01 MJ/bh

• **Energi Pekerja**

**Tabel 4.** Total energi pekerja pembuatan batako

Pekerjaan	Beban kerja per jam (Bk)	T (jam)	Rata-Rata Beban Kerja	Total Bk (kkal/jam)
<b>Pencampuran bahan baku</b>	2.85	8.00	171.00	241.00
<b>Cetak dan Potong</b>	2.85	8.00	171.00	241.00
<b>Pengeringan</b>	3.85	8.00	234.85	304.85
				<b>786.85</b>

• **Energi Transportasi**

Pengiriman bahan baku : Menggunakan Truk  
 Jarak pengiriman Pasir = 55 km  
 Jarak pengiriman semen = 80 km  
 Besar energi transportasi air = 0,8 MJ /km  
 Energi Pengiriman Pasir = 55 km x 0,8 MJ/ton km = 44 MJ/ton  
 Energi Pengiriman Semen = 80 km x 0,8 MJ/ton km = 64 MJ/ton  
 Total Energi Transportasi = 44 MJ/ton + 64 MJ/ton = 108 MJ/ton

**Bata Ringan**

Terdapat dua jenis bata ringan yang ada di pasaran. Jenis pertama adalah AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) dan jenis kedua adalah CLC (*Celular Lightweight Concrete*). Perbedaan jenis bata ringan tersebut dibedakan berdasarkan teknik pembuatannya. Untuk bata ringan AAC diproduksi di pabrik dan dilengkapi dengan ketel uap dan Autoclaves. Sedangkan untuk bata ringan CLC diproduksi dengan menggunakan beton mixer dan generator busa. Semen, pasir, dan air dimasukkan ke dalam mixer hingga campuran merata. Tahapan

pembuatan bata ringan secara umum adalah sebagai berikut:

1. Mencampur busa dari poses campuran foam agent dan air, selanjutnya busa tersebut dimasukkan ke dalam mixer.
2. Setelah hasil campuran merata, campuran dituang ke dalam cetakan
3. Cetakan bata ringan dikeringkan selama ± 10 jam
4. Setelah kering, bata ringan dilepaskan dan disimpan di tempat perawatan (*curing area*) untuk mencegah terkena sinar matahari
5. Bata ringan yang sudah kering tersebut disiram selama 10 hari
6. Hari ke-11 sampai hari ke-20 bata disimpan di tempat yang teduh.
7. Setelah 20 hari maka bata ringan siap digunakan



**Gambar 5.** Proses produksi bata ringan  
Sumber : Penulis

Energi Pengambilan bahan baku Bata ringan atau AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) / CLC (*Cellular Lightweight Concrete*) terbuat dari bahan dasar semen, pasir kuarsa, kapur dan foam agent atau pasta alumunium. Berdasarkan bahan utama pembuatannya material bata ringan, material semen merupakan material dengan proses pembuatan yang menggunakan energi paling tinggi. Untuk pasir kuarsa dan kapur merupakan bahan mentah dengan proses penambangan. Secara umum input energi dalam proses penambangan pasir kuarsa digunakan untuk peralatan tambang manual seperti : cangkul, singkup, belincong dan mekanis besar seperti : *bulldozer, scrapper, shovel, hydraulic mine, excavator/backhoe, wheel loader* dll. Bahan bakar untuk alat-alat mekanis yang digunakan untuk menambang bahan mentah tersebut adalah solar. Gambaran penggunaan energi yang berasal dari bahan bakar solar untuk penggunaan backhoe/eksavator adalah 20-23 liter/jam.

- **Energi Produksi CLC**  
**Energi Alat pembuatan bata ringan CLC**  
Mixer Listrik Kapasitas 20 m<sup>3</sup>  
Daya motor listrik 5.5 HP = 14.76 MJ  
Foam generator 250 liter/menit

Daya air compressor = 37 kW = 133.2 MJ  
Total energi alat = Mixer + Foam generator  
= 14,76 MJ + 133,20 MJ  
= 147,96 MJ

Produksi 1 hari = 200 buah  
 $\frac{147,96 \text{ MJ}}{200 \text{ bh}} = 0,7398 \sim 0,74 \text{ MJ/bh}$

• **Energi Pekerja**

**Tabel 4.** Total energi pekerja pembuatan bata ringan

Pekerjaa n	Beban kerja per jam (Bk)	T (jam)	Rata- Rata Beban Kerja	Total Bk (kcal/jam)
<b>Pencam puran bahan baku</b>	2.85	8.00	171.00	241.00
<b>Cetak dan Potong</b>	1.85	8.00	111.00	181.00
<b>Pengeri ngan</b>	3.85	8.00	234.85	304.85
				<b>726.85</b>

• **Energi Transportasi**

Pengiriman bahan baku : Menggunakan Truk  
Jarak Pengiriman Pasir kuarsa = 80 km  
Batu Kapur = 170 km  
Semen = 80 km  
Besarnya energi transportasi air = 0,8 MJ /km Energi  
Pengiriman Pasir Kuarsa = 80 km x 0,8 MJ/ton km  
= 64 MJ/ton  
Energi Pengiriman Batu Kapur = 170 km x 0,8 MJ/ton  
km = 136 MJ/ton  
Energi Pengiriman Semen = 80 km x 0,8 MJ/ton  
km = 64 MJ/ton  
Total Energi Transportasi = 64 MJ/ton + 136 MJ/ton  
+ 64 MJ/ton = 264 MJ/ton

Berdasarkan perhitungan analisis energi dari jenis-jenis material dinding didapatkan hasil yang dapat dilihat di tabel 5.

**Tabel 5.** Perbandingan analisis energi pada material dinding bata, batako, dan bata ringan

Materia l	Energi				
	Transp ortasi MJ/ton	Alat MJ/ bh	Pemb akaran MJ/bh	Pekerja Kkal/ja m	Total MJ/bh
<b>Bata merah</b>	30	1,10	0,93	804,00	2,12
<b>Batako</b>	108	0,01	-	768,85	0,92
<b>Bata Ringan</b>	264	0,74	-	726,85	2,34

Dari hasil perhitungan energi produksi setiap jenis material, didapatkan bahwa bata ringan jenis CLC paling tinggi di antara bata merah dan batako, yaitu sebesar 2,34 MJ/bh. Dalam proses produksi bata ringan CLC tidak membutuhkan proses pembakaran, alat yang membutuhkan energi adalah mixer dan

kompresor. Didapatkan bahwa dalam tahapan pembuatannya energi untuk penggunaan kompresor untuk menggerakkan foam generator paling tinggi. Selain itu energi untuk transportasi pengiriman bahan baku bata ringan paling tinggi dibandingkan dengan batu bata merah dan batako. Hal tersebut disebabkan karena bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan bata ringan lebih banyak dibandingkan dengan batu bata merah dan batako. Setiap jenis bahan baku tersebut didapatkan dari sumber wilayah yang berbeda dan jarak yang cukup jauh dari tempat produksi.

Setelah bata ringan, material bata merah merupakan material bangunan dengan konsumsi energi tinggi yaitu sebesar 2,12 MJ/bh. Proses yang menggunakan energi tinggi dalam pembuatan batu bata merah adalah proses pembakaran, sumber energi yang digunakan pada proses pembakaran adalah sekam padi, yang besar energi sekam padi yang dibutuhkan untuk membuat batu bata merah sebesar 222,75 kcal/bh = 0,93 MJ/bh. Sedangkan untuk pengiriman bahan baku dalam jarak yang sama  $\pm$  100 km dari lokasi pembuatan, batu bata merah didapatkan mengonsumsi energi paling rendah. Jika dibandingkan dengan batako dan bata ringan bahan baku yang digunakan untuk membuat batu bata merah lebih sedikit. Berbeda dengan bahan baku pembuatan batako dan bata ringan yang mempunyai jenis yang banyak dan perlu dikirimkan dari beberapa tempat berbeda sehingga konsumsi energi untuk transportasi bahan baku akan lebih banyak.

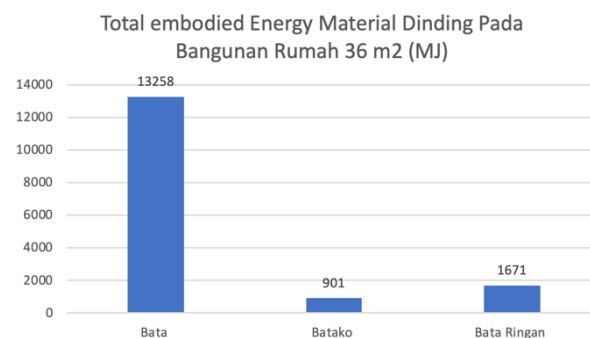
Sedangkan material batako merupakan material yang paling rendah energi produksinya, yaitu sebesar 0,92 MJ/bh. Konsumsi energi untuk peralatan produksi didapatkan nilai paling rendah dibandingkan bata dan bata ringan yaitu sebesar 0,01 MJ/bh, hal tersebut dikarenakan tidak ada penggunaan alat yang mengonsumsi energi yang signifikan. Dalam proses mencetak batako menggunakan alat manual. Akan tetapi dalam energi transportasi bahan baku, konsumsi energi pengiriman terbilang cukup tinggi dibandingkan batu bata, dikarenakan terdapat beberapa jenis bahan baku yang harus digunakan dalam proses pembuatannya dan didapatkan dari sumber yang berbeda. Akan tetapi besar energi transportasi bahan baku lebih rendah dibandingkan dengan bata ringan.

Setelah dilakukan perhitungan energi dari proses produksi material, selanjutnya dihitung gambaran dasar besar embodied energi yang berdasarkan penggunaan material pada desain rumah tinggal tipe 36. Kondisi perhitungan belum mempertimbangkan konstruksi dan material pendukung lain dari dinding yang dibuat. Hasil perhitungan dapat dilihat pada grafik 1.

Pada grafik 1 ditunjukkan bahwa penggunaan bata merah pada desain rumah tinggal dengan luasan bangunan 36 m<sup>2</sup> akan memiliki nilai embodied energi yang tinggi yaitu sebesar 13258 MJ. Sedangkan jika menggunakan bata ringan pada tipe rumah tinggal tipe 36 nilai embodied energinya sebesar 1671 MJ

dibandingkan batako yang sebesar 901 MJ maupun bata merah.

**Grafik 1.** Perbandingan embodied energi material dinding pada bangunan rumah tinggal tipe 36



Berdasarkan hasil kajian didapatkan juga bahwa volume material akan mempengaruhi. Jika dibandingkan ketiganya, jika rumah tinggal tipe 36 m<sup>2</sup> menggunakan bata merah volume material bata yang dibutuhkan sebanyak 6251,70 buah, batako 982,41 buah dan bata ringan 714,48 buah. Jumlah tersebut juga dipengaruhi oleh ukuran material. Semakin banyak material yang digunakan maka akan menyebabkan embodied energi awal tinggi.

Dari hasil survei lapangan didapatkan bahwa dalam pembuatan material dinding masih menggunakan sumber energi tidak terbarukan seperti minyak, batu bara (PLN), sekam padi yang emisi CO<sub>2</sub> nya tinggi. Untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan energi, maka proses produksi material dapat dimulai dengan menggunakan sumber energi terbarukan (Sabaruddin, 2011).

## KESIMPULAN

Berdasarkan uraian hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Dari ketiga material dinding, batako merupakan material yang paling rendah konsumsi energi produksinya, diikuti dengan bata merah. Sedangkan yang paling tinggi energi produksinya adalah bata ringan.
- Pada material bata ringan faktor energi untuk transportasi bahan baku menjadi pengaruh yang signifikan terhadap tingginya energi produksi. Sedangkan pada bata merah energi pembakaran menjadi faktor yang signifikan mempengaruhi total energi produksi material.
- Besar embodied energi yang menggambarkan gambaran energi awal dari konstruksi dinding bangunan, pada desain rumah tipe 36m<sup>2</sup> menunjukkan bahwa nilai embodied energinya juga dipengaruhi oleh volume material dinding yang digunakan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima kasih kepada Universitas Trisakti yang telah mendanai penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azari, R. (2019). Life Cycle Energy Consumption of Buildings; Embodied + Operational. Sustainable Construction Technologies, 123–144. doi:10.1016/b978-0-12-811749-1.00004-3
- Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum (2005). *Potensi Emisi CO<sub>2</sub> Pada Produksi Bahan Bangunan Rumah*
- Baird, Gorge, (1994): *Materials Selection and Energy Efficiency. Journal Global Warming and The Built Environment*, 231.
- Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., & Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO<sub>2</sub> emissions in cement industry. *Journal of Cleaner Production*, 51, 142-161. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.049>
- Berge, Bjorn., (2009): *The Ecology of Building Material*. Architectural Press Elsevier UK.
- Fatihah, A.A., 2008. Global Warming. Sebuah Isyarat Dekatnya Akhir Zaman dan Kehancuran Dunia. Granada Mediatama. Jawa Tengah.
- Gonzalez Stumpf, M. A., Kulakowski, M. P., Breitenbach, L. G., & Kirch, F. (2014). *A case study about embodied energy in concrete and structural masonry buildings. Revista de La Construcción*, 13(2), 9–14. doi:10.4067/s0718-915x2014000200001
- Hammond, G dan Jones, Craig, (2008). *Inventory of Carbon and Energy (ICE)/ University of Bath*, UK.
- Huberman, N., & Pearlmutter, D. (2008). *A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. Energy and Buildings*, 40(5), 837–848. doi:10.1016/j.enbuild.2007.06.002
- IPCC Guidelines (2006). *Greenhouse Gas Inventories Energy*, Volume 2.
- Kapoor, Prashant (2017). Why It's Time to Get Serious About Embodied Energy. <https://www.edgebuildings.com/embodied-energy/>
- Kobayashi, Hideyuki. 2004. Pengukuran Emisi CO<sub>2</sub> di Sektor Permukiman Perkotaan - Pendekatan secara Makro. Makalah disajikan dalam diskusi teknik di Puslitbang Pusat Litbang Permukiman.
- Kurdi, SZ, Dkk (2008). Pengaruh Emisi Co<sub>2</sub> Dari Sektor Perumahan Perkotaan Terhadap Kualitas Lingkungan Global. *Jurnal Permukiman* Vol. 3 No. 2 Juli 2008. 137-150
- Putri FDE (2014), Krisis Minyak tahun 1973-1974 Negara-negar Industro Sebagai Penggerak Tata Ekonomi Dunia Baru. AVATARA, e-journal Pendidikan Sejarah. VI. 2 No. 1, Maret 2014 : 42-57
- Sabaruddin, Arief. Dkk (2011). Model Perhitungan Kandungan Emisi CO<sub>2</sub> Pada Bangunan Gedung CO<sub>2</sub> Emission Greenhouse Gas Effect And Global Warming Building Energy. *Jurnal Permukiman* Vol. 6 No. 3 November 2011 : 154-163
- SNI 7269:2009. *Penilaian beban kerja berdasarkan tingkat kebutuhan kalori menurut pengeluaran energi*.
- Suriani E. (2017). Bambu Sebagai Alternatif Penerapan Material Ekologis: Potensi dan Tantangannya. *EMARA: Indonesian Journal of Architecture*, 3 (1), 33-42. <https://doi.org/10.29080/emara.v3i1.138>
- Ting, S.K (2006). Optimisation of Embodied Energy In Domestic Construction. Thesis Master of Engineering, RMIT University.
- Treloar, G.J (1998). *A Comprehensive Embodied Energy Analysis Framework*. Thesis Faculty of Science and Technology, Deakin University.
- Utama N. A, dkk, (2009). *Influence of Material Selection on Energy Demand in Residential Houses. Journal Materials and Design*, 3, 2173-2180.
- Wirahadikusumah R.D. dkk, (2012). *Estimasi Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Pekerjaan Pengaspalan Jalan*. *Jurnal Teknik sipil Institut Teknologi Bandung*, Vol. 19 No. 1 April 2012, 25-36.