

# ENERGI TERKANDUNG DALAM BAHAN BANGUNAN RUMAH KEDIAMAN KELAS MENENGAH DI KOTA PADANG SUMATERA BARAT

Hendrino

Program Studi Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Bung Hatta - Padang, 25133Indonesia

## ABSTRAK

Walaupun pembangunan berkelanjutan merupakan agenda di Indonesia, tetapi penilaian energi yang terkandung belum menjadi perhatian utama di Sumatera Barat. Studi ini memberi gambaran tentang energi terkandung bangunan tipikal. Tujuan studi ini adalah untuk menentukan rata-rata jumlah energi terkandung rumah kediaman kelas menengah di Padang Kota, Provinsi Sumatera Barat. Metodologi yang digunakan dalam studi ini termasuk analisis energi terkandung dalam disain rancangan bangunan dan spesifikasi bahan, dan pemerhatian aktivitas pembangunan enam rumah kediaman kelas menengah terpilih. Luas lantai rumah kediaman 312 m<sup>2</sup> hingga 638 m<sup>2</sup>. Berdasarkan informasi itu, energi terkandung pada tahap produksi bahan dan transportasi bahan dihitung untuk menentukan jumlah energi terkandung. Telah ditemukan bahwa jumlah energi terkandung rumah kelas menengah antara 3.01 GJ/m<sup>2</sup> hingga 3.79 GJ/m<sup>2</sup> dengan rata-rata 3.38 GJ/m<sup>2</sup>. Data, dan metodologi penemuan berguna untuk penelitian masa depan dalam pembangunan berkelanjutan. Penemuan ini juga dapat digunakan untuk membandingkan dengan prestasi energirumah kediaman serupa di negara-negara membangun lain.

**Kata kunci :** Energi terkandung, Bahan bangunan, Energi transport, Rumah kediaman.

## 1. PENDAHULUAN

Sektor industri dan konstruksi, memainkan peranan penting dalam penggunaan energi di seluruh dunia, dan memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah penggunaan energi dan sumber daya alam serta emisi karbon yang dihasilkan. Sektor konstruksi adalah salah satu pengguna energi komersial terbesar dalam bentuk energi listrik atau panas, dengan pembakaran langsung bahan bakar fosil. (Dixit.et al.2010).

Bangunan adalah pengguna utama energi dan sumber daya alam di seluruh dunia. Bahan bangunan dan komponen bangunan mengkonsumsi hampir 40 % dari energi global setiap tahun pada tahap siklus hidup mereka, seperti penyediaan bahan baku, produksi bahan, pengangkutan bahan, pembangunan di lokasi, penggunaan, pembongkaran, hingga penggunaan akhir (Dixit.et al.2012)

Bahan-bahan bangunan telah mengkonsumsi energi intensif sebelum mencapai lokasi pembangunan. Energi selama produksi bahan dikenal energi yang terkandung. Energi terkandung adalah ukuran volume energi yang terikat pada produk yang harus dibayar untuk keperluan pertambangan bahan baku dan proses pembuatan yang diperlukan untuk menghasilkan bahan-bahan dan produk. Termasuk energi yang berkaitan dengan pengangkutan bahan baku ke industri terkait dan pengedaran produk siap guna dari pabrik industri hingga kepada pengguna. (Yasantha, 2007).

Pembuatan bahan-bahan bangunan banyak yang berbeda-beda seperti semen, besi, beton, *plywood*, batu bata, atap *zinc*, keramik lantai, aluminium, kaca, dan lain-lain telah dikaji untuk

\* Korespondensi:  
Email: adek\_hendrino@yahoo.com

menentukan energi dan biaya ekologi.(Mari.2007) Bagi Indonesia energi yang digunakan untuk pembuatan bahan-bahan bangunan adalah kebanyakan bahan dan energi intensif sumber bahan bakar fosil sumber energi yang tidak dapat diperbaharui.(BPPT 2013).

Berdasarkan data Kementerian ESDM tahun 2012, persentase penggunaan energi terbesar di Indonesia adalah sektor industri dengan 49,4% dari nilai keseluruhan konsumsi energi nasional. Tiga jenis industri yang mengkonsumsi energi terbesar baik untuk digunakan sebagai bahan bakar atau digunakan sebagai bahan baku adalah industri besi, industri semen, dan industri keramik. Dari tahun 2000 hingga 2011 penggunaan energi bagi sektor industri mengalami peningkatan sebesar 3.05% (BPPT 2013). Hal ini akan berimpak kepada keperluan energi untuk industri pembuatan bahan-bahan bangunan akan semakin meningkat terutama dalam sektor perumahan.

Jumlah energi siklus hidup (*Life Cycle Energy*) sebuah bangunan terdiri kepada dua jenis energi. Energi terkandung dan energioperasi.(Dixit.et al.2010). Energi terkandung (*Embodied Energy*) adalah energi yang tertanam dalam bahan bangunan semasa semua proses produksi bahan, pembangunan di lokasi, operasi dan pembongkaran tahap akhir penggunaan. Energi Operasi (*Operating Energy*) adalah energi dikonsumsi untuk menggerakkan peralatan elektrikal dan mekanikal dalam dalam bangunan melalui proses seperti pencahayaan, pemanasan dan penyejukan dalam ruang, dan operasi peralatan lainnya.

Sebatas ini penggunaan energi untuk operasi bangunan dianggap lebih besar dalam keseluruhan siklus hidup energi bangunan. Namun karena munculnya peralatan hemat energi dan bahan fasad bangunan yang efektif dan kinerja tinggi, potensi membatasi energi operasi telah meningkat, dan penekanan konservasi energi pada bangunan saat ini telah beralih kepada energi terkandung dalam bahan bangunann.(Dixit.et al.2010).

Beberapa studi telah memperkirakan kepentingan energi terkandung dalam bahan bangunan adalah penting, dan telah membuktikan, bahwa penggunaan teknologi yang lebih baik, hemat energi dapat mengurangi energi terkandung dalam bahan bangunan, dan meminimalkan pelepasan karbon CO<sub>2</sub> yang dihasilkan jika menggunakan bahan-bahan intensif dan energi yang rendah.(Dixit.MK.et al.2012)

Studi ini pertama akan menilai energi terkandung dalam bahan bangunan utama rumah kediaman kelas menengah seperti bahan semen, besi tulangan, beton, plywood, kayu, batu bata, atap zinc dan keramik lantai, terhadap satu unit bangunan rumah kediaman pilot studi yang dalam masa proses pembangunan. Setelah itu penilaian diteruskan kepada energi terkandung rumah tersebut dan lima rumah objek studi lainnya. Kedua penilaian energi terkandung di dalam badan bangunan berbanding keluasan lantai terhadap lima unit rumah penilaian bangunan yang telah ada tipologi bangunan yang sama pada kawasan studi di Kota Padang Propinsi Sumatera Barat.

Kota Padang dipilih sebagai fokus studi adalah karena kota Padang merupakan ibu kota Propinsi Sumatera Barat, dengan populasi penduduk yang tinggi dan jumlah penduduk lebih satu juta jiwa yang memiliki aktivitas pembangunan perumahan tertinggi di Sumatera Barat.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Energi Terkandung (*Embodied Energy*)

Energi terkandung adalah energi yang tertanam dalam bahan bangunan selama semua proses produksi bahan atau produk, pembangunan di lokasi, Operasi bangunan, hingga penggunaan akhir bangunan. Energi terkandung di definisikan sebagai jumlah dari penggunaan energi (bahan bakar minyak/listrik, bahan, dan tenaga manusia) yang digunakan untuk membuat suatu produk.(Hammond. GP 2008).

Penilaian energi terkandung ialah suatu metode akuntansi (Audit) energi yang bertujuan untuk mengetahui jumlah keseluruhan energi yang diperlukan untuk sebuah siklus hidup produk. Siklus hidup energi ini termasuk untuk pertambangan bahan baku, pembuatan bahan atau produk, transportasi, pembangunan di lokasi, operasi bangunan, perawatan bangunan, renovasi, pembongkaran bangunan hingga pembuangan akhir (Hammond. GP.2008).

Energi terkandung diukur sebagai suatu kuantiti energi yang tidak boleh diperbarui untuk setiap unit bahan, komponen atau sistem, Sebagai contoh ia dinyatakan sebagai unit Mega Joule (MJ) atau Giga Joule (GJ) setiap unit berat ( $\text{kg}\cdot\text{m}^3$ , atau tan) atau luas (meter persegi). Proses penilaian energi terkandung kompleks dan melibatkan berbagai sumber data. (Cole, R.J.and Kernan, P.C.1996).

### 2.2. Model Energi Terkandung Untuk Bangunan (*Embodied Energy Model for Buildings*)

Menurut (Ding, G.2004) Jumlah siklus hidup tenaga bangunan termasuk kedua-duanya energi terkandung dan energi operasi :

**a) Energi terkandung (Embodied Energy):** Energi yang tertanam dalam bahan bangunan dan bangunan semasa semua proses pembuatan, pembangunan di lokasi, dan pembongkaran akhir penggunaan bangunan. Energi terkandung dalam bangunan mempunyai dua komponen utama, energi langsung dan energi tidak langsung (Dixit MK,. 2010).

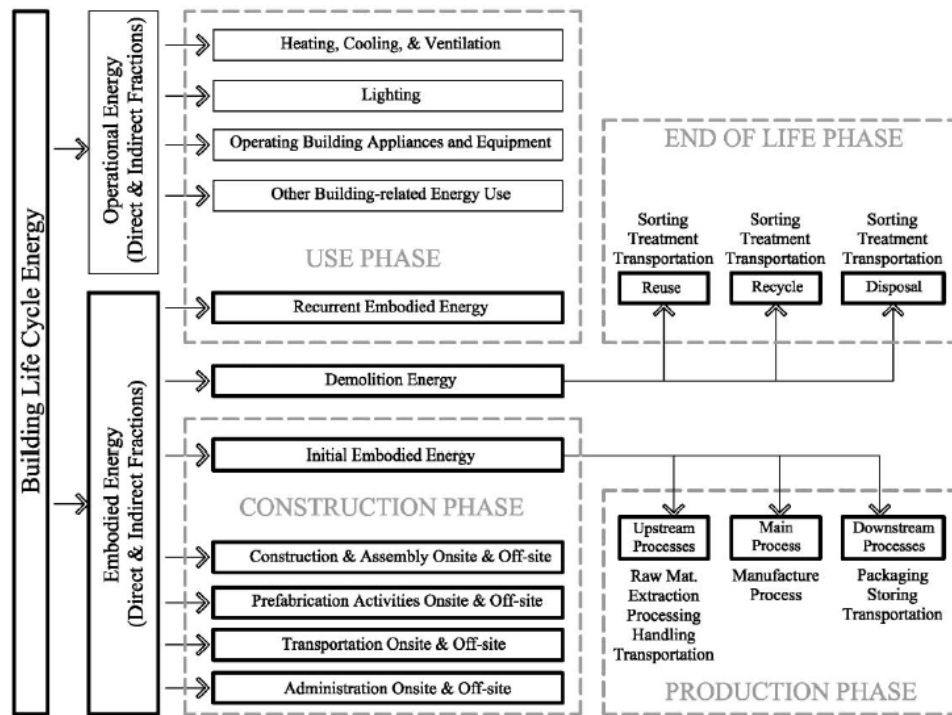
**Energi langsung :** Energi yang digunakan di lokasi dan diluar lokasi operasi, seperti pembangunan, penyediaan, perakitan, pengangkutan dan administrasi seperti ditunjukkan gambar 1 (Dixit.MK,2010).

**Energi tidak langsung :** Energi yang digunakan dalam pembuatan bahan bangunan, dalam pekerjaan renovasi bangunan. Ini termasuk energi terkandung awal, energi terkandung berulang dan energi pembongkaran. Energi terkandung awal digunakan semasa pembuatan bahan dan komponen dan termasuk penyediaan bahan baku, pembuatan bahan bangunan dan pengiriman produk siap (pengangkutan) ke lokasi pembangunan. Energi terkandung berulang digunakan dalam berbagai proses perawatan dan renovasi semasa kehidupan berguna bangunan. Energi pembongkaran digunakan dalam proses-proses pembongkaran dan penghancuran bangunan bahan bangunan (Dixit.et al.,2010).

b) **Energi operasi (Operating Energy)** : Energi yang digunakan untuk mempertahankan lingkungan ruang dalam melalui proses seperti, pencahayaan, pemanasan dan penyejukan dalam bangunan dan peralatan operasi bangunan.

**2.3. Tahap Siklus Hidup Energi Terkandung Bangunan**

Jumlah energi siklus hidup yang digunakan oleh bangunan yang merangkum komponen energi langsung dan tidak langsung, energi terkandung dan operasi, ini menggunakan energi digunakan antara empat tahap utama siklus hidup. (1) tahap pembuatan bahan, (2) tahap pembangunan, (3) tahap operasi, (4) tahap akhir penggunaan. Model tahap siklus hidup energi untuk bangunan seperti ditunjukkan oleh gambar 1.



**Gambar 1** : Model energi terkandung untuk siklus hidup sebuah bangunan  
 Sumber : Dixit.et.al.(2013)

Energi yang digunakan dalam pembuatan bahan bangunan, perakitan dan peralatan pembangunan, proses pemasangan, pembangunan, serta transportasi, dan administrasi semasa tahap pembangunan bangunan ini secara kolektif disebut energi terkandung awal. (Dixit.MK.et.al. 2013) tahap-tahap siklus hidup energi (LCE) untuk bangunan dijelaskan seperti berikut :

### 1. Tahap Pembuatan Bahan (*Production Phase*)

Aktifitas bermula dari pertambangan bahan baku, transportasi untuk kemudahan pembuatan bahan, perakitan produk, hingga pengemasan produk. Ini tidak termasuk pengangkutan untuk pengiriman dan pengedaran produk bahan dari industri hingga ke lokasi pembangunan.

### 2. Tahap Pembangunan (*Construction Phase*)

Semua aktifitas yang terkait dengan pembangunan bangunan di lokasi, termasuk untuk pengangkutan bahan/produk ke lokasi, penggunaan peralatan semasa membangun bangunan tsb, perakitan di lokasi, dan energi yang diperlukan untuk pekerjaan di lokasi pembangunan juga termasuk di dalam tahap ini.

### 3. Tahap Operasi (*Use Phase*)

Penggunaan energi aktifitas dalam operasi pembangunan dan penggunaan bangunan.

### 4. Tahap Akhir Hidup (*End of Life Phase*)

Energi yang digunakan untuk pembongkaran bangunan dan penghancuran bahan-bahan untuk lokasi daur ulang. Pelaksanaan pengangkutan bahan-bahan buangan termasuk, bahan daur ulang.

## 2.4. Energi Terkandung Tahap Pembuatan Bahan (*Production*)

Proses pembuatan bahan bangunan dan produk menggunakan energi dan input energi seperti energi listrik, bahan bakar, bahan baku. Dalam tahap pembuatan utama, (input energi) langsung dan energi tidak langsung kedua-duanya digunakan sebagai sumber energi dan sebagai bahan baku. Semua pengangkutan di lokasi dan luar lokasi yang berkaitan dengan pembuatan juga dianggap sebagai penggunaan energi langsung (Dixit, 2013).

Pada tahap hulu, proses pertambangan bahan mentah, perawatan, pengendalian, penyimpanan, dan pengangkutan ke unit pembuatan juga menggunakan sumber energi dan bukan energi yang juga dihitung. Di hilir proses pembuatan utama, apabila produk siap dibungkus, dilabel, disimpan, dan diangkut ke lokasi pembangunan atau suplayer bahan, energi digunakan secara langsung dan tidak langsung (Dixit MK, 2013). Dalam beberapa kasus, pengiriman bahan bangunan ke tujuan akhir mereka boleh agak intensif energi bergantung kepada jarak dan peralatan pengangkutan yang digunakan.

Jumlah semua energi yang digunakan secara langsung dan tidak langsung dalam produksi utama, proses hulu, dan hilir sehingga produk akhir mencapai tujuannya dianggap sebagai energi pembuatan bahan bangunan. Energi pembuatan bahan mewakili bahagian terbesar daripada jumlah siklus hidup energi terkandung bangunan (Vukotic *et al.*, 2010).

## 2.5. Energi Terkandung Transportasi (*Embodied Energy Transportation*)

Energi terkandung transportasi adalah energi yang diperlukan untuk keperluan-keperluan proses produksi, pengiriman dan pengedaran bahan atau produk. Bahan-bahan bangunan siap dihantar dari unit pembuatan kepada suplayer bahan atau kepada lokasi pembangunan, yang boleh terdapat di negara yang

sama atau di luar negara. Oleh karena itu, bahan bangunan dapat diedarkan di pasar setempat, yang di import dari negara asing, atau di ekspor ke negara lain yang melibatkan berbagai jenis pengangkutan dan mengkonsumsi berbagai sumber energi (Lucuik *et al.*, 2006)

Bahan-bahan bangunan atau produk dapat dikirim kepada titik mereka dengan melalui pengangkutan jalan raya, kereta api dan air (boat dan kapal), atau pengangkutan udara, bergantung kepada tujuan (Peuportier, 2001). Energi terkandung dalam bahan-bahan bangunan adalah penting untuk diingat, bahwa sejumlah besar energi kemudian akan diperlukan untuk keperluan mengangkut bahan-bahan bangunan tersebut ke lokasi pembangunan. Untuk menangani isu energi terkandung yang berkaitan dengan pengangkutan adalah dengan memperkirakan jarak darimana sumber bahan-bahan bangunan yang dihasilkan untuk diedarkan dan dikirim.

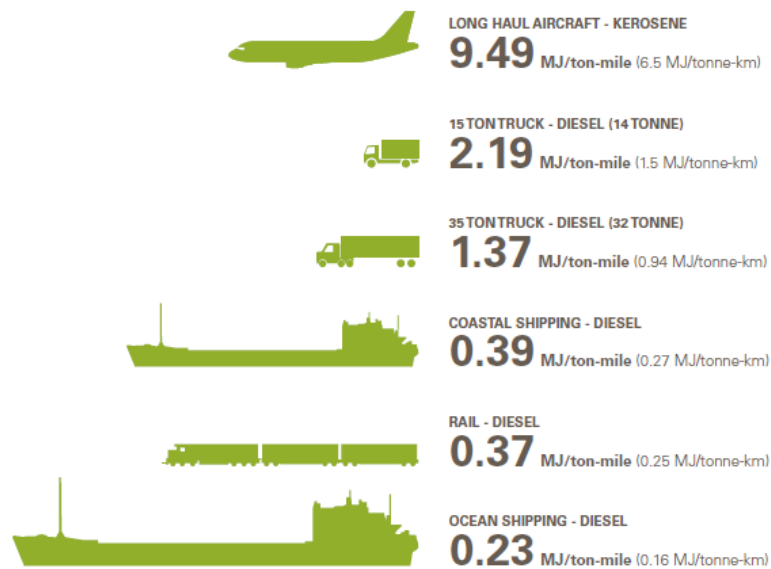
Jumlah energi terkandung pengangkutan bergantung kepada berbagai faktor seperti jarak perjalanan, jenis kenderaan dan bahan bakar yang digunakan, jumlah perjalanan, muatan truk, keadaan trafik, keadaan jalan raya, dan kecakapan pengemudi kenderaan. Menurut (Vukotic *et al.*, (2010), energi pengangkutan untuk bahan-bahan seperti pasir dan batu boleh menjadi lebih tinggi daripada energi pembuatan atau energi perolehan mereka.

## **2.6. Metode Analisis Perhitungan Energi Terkandung Produksi Bahan**

Diantara metode analisis perhitungan energi terkandung yang biasa digunakan adalah analisis berasaskan proses, analisis berasaskan input-output (I-O), analisis hibrid (Dixit, MK.2015), dan analisis statistik, yang menggunakan statistik negara untuk menghitung energi terkandung yang menggunakan jumlah energi yang disuplai kepada sektor industri tertentu dan jumlah produksinya (Langston, 2008).

## **2.7. Metode Perhitungan Energi Terkandung Transportasi**

Untuk perhitungan energi terkandung transportasi, perhitungan bergantung kepada tiga variabel. Pertama mengetahui jarak perjalanan pengiriman bahan dari industri hingga ke lokasi pembangunan berdasarkan kepada peringkat pengangkutan yang digunakan. Kedua memastikan jenis pengangkutan dan bahan bakar yang digunakan. Ketiga memastikan angka koefisien energi terkandung pengangkutan dalam unit MJ/ton/km atau MJ/ton/mile berbagai jenis kenderaan pengangkutan seperti truk, kapal laut, kereta api, atau kapal terbang. Angka koefisien energi terkandung untuk pengangkutan dapat merujuk kepada sumber standar internasional seperti sumber Argone National Laboratory of Transportation USA,(2010). Angka koefisien energi terkandung untuk berbagai transportasi seperti ditunjukkan oleh gambar 2 berikut ini.



**Gambar 2** :Angka koefisi energi terkandung berbagai transportasi  
 Sumber : Argone National Laboratory of Transportation USA, (2010)

### 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini berupa analisis desain rancangan bangunan, spesifikasi dan kuantiti bahan. Nilai-nilai daripada angka energi terkandung produksi bahan merujuk dari hasil sumber peneliti di kawasan Asia Tenggara. Untuk analisis perhitungan energi terkandung pengangkutan merujuk kepada standar koefisien energi terkandung sumber : *Argone National Laboratory of Transportation USA* (2010). Koefisien energi terkandung tersebut ditentukan dengan *observation* aktifitas pembangunan di lokasi, mengetahui jenis transportasi pengangkutan bahan seperti jenis truk beton *ready mix*, truk besi, truk semen, truk *plywood*, kayu, truk batu bata, truk atap *zinc* dan truk keramik, aktivitas-aktifitas pembangunan.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Objektif Studi dan Kawasan Studi

Tujuan studi ini adalah untuk menentukan rata-rata jumlah energi terkandung rumah kediaman kelas menengah di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat, Indonesia. Objektif pertama studi ini adalah untuk menentukan rata-rata jumlah energi terkandung setiap bahan dalam unit (MJ/kg/ton) rumah kediaman kelas menengah di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. Bahan digunakan termasuk semen, besi, beton, *plywood*, kayu, batu bata, atap *zinc* dan keramik lantai.

Objektif kedua adalah menilai rata-rata nilai energi terkandung didalam badan terhadap enam unit rumah studi penilaian bangunan dalam unit (GJ/m<sup>2</sup>) berbanding luas lantai di kawasan Kota Padang



Provinsi Sumatera Barat. Kota Padang dipilih sebagai lokasi studi adalah Kota Padang merupakan Ibu Kota Provinsi Sumatera Barat yang memiliki aktifitas pembangunan perumahan yang tinggi.

#### 4.2. Penerangan Bangunan (*Building Discription*)

Rumah-rumah objek studi yang dipilih dibangun dari tahun 2005 hingga 2015 yang mempunyai gaya arsitektur bangunan yang berbeda-beda, dan metode pembangunan dengan spesifikasi bahan-bahan bangunan yang hampir sama, Rumah-rumah ini memiliki luasan lantai bangunan yang berbeda-beda lebih kurang 312 m<sup>2</sup> hingga 638 m<sup>2</sup>. Gambar tampak depan rumah objek studi seperti ditunjukkan oleh gambar 3. Komponen bangunan dan spesifikasi bahan rumah pilot studi ditunjukkan oleh Tabel.1 : Kuantiti bahan bangunan (ton) rumah R.1 keluasan bangunan 600 m<sup>2</sup> ditunjukkan pada Tabel 2. Kuantiti bahan dan keluasan lantai masing-masing bangunan rumah objek studi penilaian bangunan ditunjukkan tabel 3.



a. Rumah (R.1) b. Rumah (R.2) c. Rumah (R.3)



d. Rumah (R.4) e. Rumah (R.5) d. Rumah (R.6)

**Gambar 3:** Foto tampak depan rumah kediaman penilaian bangunan  
*Sumber : Hasil Analisis, 2017*

Rumah-rumah ini dibangun dengan struktur beton bertulang yang terdiri dari tiga komponen utama, beton, acuan dan besi tulangan. Acuan yang digunakan umumnya kayu dan *plywood* dan beton in-situ Gred 20 Mpa digunakan untuk membangun struktur. Pondasi dibuat dari beton bertulang plat setempat. Dinding dalam dan luar dibangun dengan batu bata tanah liat tidak menanggung beban. rangka atap dibangundengan kuda-kuda kayu dengan atap *zinc*. Untuk pintu dan jendela rangka kayu dan aluminium, pintu dari kayu dan *plywood*, finishing lantai keramik.



**Tabel.1** : Komponen Bangunan dan Spesifikasi Bahan Rumah Pilot Studi

No	Material Component	Material Specification
1	Floor Area Building	600.m <sup>2</sup>
2	Sub Structure	Concrete (Plat Setempat) dan Batu belah
3	Building Structure	Concerete (20 Mpa)
4	Wall	Clay Bick Plaster
5	Frame Door and Window	Borneo Timber Level 1 (6 x 15)
6	Door andWindow	Borneo Timber Level 1 (4 x 10)
7	Frame Roof	Borneo TimberLevel 1 (6 x 12 )
8	Roofing	Zingalume 0,5 Colour Bond
9	Frame Celing	Timber 5 x 7 ( Meranti, Level,2)
10	Celing	Gypsum Board T 10.mm
11	Floor	Ceramic Tile (60 x 60)







Sumber : Hasil Analisis,2017

**Tabel 2:** Kuantiti Bahan Bangunan (ton) Rumah R.1 Keluasan Bangunan 600 m<sup>2</sup>

No	Material	DensityMaterial (kg/m <sup>3</sup> )	Quantity Materal (tons)	Materials Source
1	Cement	1,506	49.74	Local
2	Iron	7,750	20.04	Regional
3	Concrete	2,400	156.47	Local
4	Plywood	750	1.75	Regional
5	Timber	705	9.50	Local
6	Clay Brick	950	103.62	Local
7	Roof Zinc	3,330	3.51	Regionl
8	Ceramic Tile	2,500	13.20	Regional

Sumber : Hasil Analisis,2017

**Tabel 3:** Kuantiti Bahan Bangunan (tons) Rumah Kajian

No	House Study						
	House	R.1	R.2	(R.3)	(R.4)	(R.5)	(R.6)
	Floor.Area	(600.m <sup>2</sup> )	(638m <sup>2</sup> )	(312m <sup>2</sup> )	(670m <sup>2</sup> )	(545m <sup>2</sup> )	(465m <sup>2</sup> )
	Material						
1	Cement	49.74	43.40	25.60	55.50	57.25	47.50
2	Iron	25.05	30.87	12.79	30.12	27.61	25.72
3	Concrete	156.47	277.30	114.95	270.58	248.17	202.19
4	Plywood	1.75	2.03	1.40	3.00	3.36	2.20
5	Timber	14.25	21.50	15.15	26.01	30.58	16.38
6	Clay Brick	103.62	106.87	62.32	112.64	89.95	82.88
7	Roof Zinc	3.51	2.96	1.46	3.17	2.43	1.62
8	Ceramic Tile	13.20	12.76	7.48	13.40	11.50	10.23

Sumber : Hasil Analisis,2017

### 4.3. Sumber Bahan Jarak Pengangkutan dan Jenis Pengangkutan

Untuk Sumatera Barat sumber bahan bangunan utama untuk membangun rumah kediaman terdiri dari dua sumber, yaitu sumber setempat dan sumber regional. Bahan-bahan bangunan sumber setempat adalah seperti semen, batu bata, beton dan kayu, karena bahan-bahan jenis ini industri pembuatan ada

di Kota Padang, Sumatera Barat. Untuk bahan besi, atap *zinc*, *plywood*, keramik lantai ini adalah bahan sumber regional karena kilang pembuatan ada di Pulau Jawa seperti pada daerah Jakarta, Propinsi Jawa Barat, dan Propinsi Banten, yang menggunakan jarak pengangkutan yang jauh lebih kurang 1,300 km ke Kota Padang Sumatera Barat. Sumber bahan jarak dan jenis pengangkutan dari delapan jenis bahan bangunan utama rumah pilot studi di Kota Padang, di tunjukkan Tabel 4.

**Tabel 4:** Sumber Bahan Jarak Pengangkutan dan Jenis Pengangkutan Bahan Bangunan Utama Rumah Pilot Studi di Kota Padang Provinsi Sumatera Barat.

No	Material	Material Source	Distance Transpot (km)	Type Vehicles Transportation
1	Cement	(Local ) Bandart Paang	20	Diesel Truck 35 ton
2	Iron	(Regional) Cilegon Banten	1,368	Coastal Shipping & Truck
3	Concrete	(Local) Bandar Padang	20	Diesel Truck 35 ton
4	Plywood	(Regional)Pekan Baru Riau	325	Diesel Truck 35 ton
5	Timber	(Local)Solok Selatan	154	Diesel Truck 35 ton
6	ClayBrick	(Lokal) Padang	34	Diesel Truck 15 ton
7	Roof Zinc	(Regional) Cibitung Jawa. Barat	1,391	Coastal Shipping & Truck
8	Ceramic	(Regional) Cibitung Jawa. Barat	1,391	Coastal Shipping & Truck

Sumber : Hasil Analisis,2017

#### 4.4. Energi Terkandung Produksi Bahan

Untuk perhitungan energi terkandung yang digunakan dalam studi ini, analisis perhitungan energi terkandung bahan bangunan utama rumah kajian merujuk kepada studi literatur dari sumber-sumber hasil kajian dari beberapa peneliti di kawasan Asia seperti Indonesia, Malaysia, dan India. Angka energi terkandung produksi bahan, sumber kajian, ditunjukkan oleh tabel 5 berikut ini.

**Tabel 5:** Nilai Energi Terkandung Produksi Bahan

No	Materials	Density Materials (kg/m <sup>3</sup> )	Value EmE (MJ/kg)	Value EmE (MJ/tons)	Source
1	Cement	1,506	4.53	4,510	Jayeskumar.S (India) 2015
2	Iron	7,750	34.00	34,000	A.Utama (Indonesia) 2009
3	Concrete	2,400	1.70	1,700	Mari.TS (Malaysia) 2007
4	Playwood	750	10.40	10,400	Mari.TS (Malaysia) 2007
5	Timber	705	2.00	2,000	Jayeskumar.S (India) 2015
6	ClayBrick	950	1.30	1,300	A.Utama (Indonesia) 2009
7	Roof Zinc	3,330	53.10	53,100	Bluecupe Lysac Malaysia (2014)
8	Ceramic	2,500	5.00	5,000	Mari.TS (Malaysia) 2007

Sumber : Hasil Analisis,2017

#### 4.5. Analisis Perhitungan Energi Terkandung Transportasi

Untuk analisis perhitungan energi terkandung transportasi setiap bahan, analisis perhitungan adalah dengan mengalikan jarak pengangkutan dengan koefisien energi terkandung pengangkutan, kemudian mengalikan dengan kuantiti bahan yang dihantar, hasil energi terkandung dapat diketahui. Contoh Analisis perhitungan dan hasil nilai energi terkandung transportasi setiap bahan rumah R-1 ditunjukkan oleh tabel 6 berikut ini.

**Tabel 6** : Analisis Perhitungan Energi Terkandung Transportasi (MJ/ton/km) Setiap Bahan Bangunan Utama Rumah Kediaman (R-1).

No	Material	Material Source And Transport Level	Distance Transpot (km)	Type Vehicles Transportation	Coefficien Transport Energy (MJ/ton/km)	Value Transport Energy (MJ/ton/km)
1	<b>Cement</b>	Industri ToSupplier	15	Diesel Truck 35 ton	0.94	14.10
		Supplier To Site	5	Diesel Truck 15 ton	1.50	7.50
		<b>Total</b>	<b>20</b>			<b>21.60</b>
2	<b>Iron</b>	Cilegon To T.Priuk	115	Diesel Truck 35 ton	0.94	108.10
		Prot T.Priuk - T.Bayur	1,230	Coastal Shipping	0.27	332.10
		Port To Warehouse	8	Diesel Truck 35 ton	0.94	7.05
		Warehouse-Supplier	7.5	Diesel Truck 35 ton	0.94	7.05
		Supplier To Site	7.5	Diesel Truck 15 ton	1.50	11.25
		<b>Total</b>	<b>1,368</b>			<b>465.55</b>
3	<b>Concrete</b>	Industri To Site	20	Diesel Truck 35 ton	0.94	18.80
		<b>Total</b>	<b>20</b>			<b>18.00</b>
4	<b>Plywood</b>	Industri to Supplier	315	Diesel Truck 35 ton	0.94	296.10
		Supplier To Site	10	Diesel Truck 15 ton	1.50	15.00
		<b>Total</b>	<b>325</b>			<b>311.10</b>
5	<b>Timber</b>	Industri To Supplier	154	Diesel Truck 35 ton	0.94	144.29
		Supplier To Site	12.5	Diesel Truck 15 ton	1.50	18.75
		<b>Total</b>	<b>166</b>			<b>163.04</b>
6	<b>ClayBrick</b>	Industri To Site	34	Diesel Truck 15 ton	1.50	51.00
		<b>Total</b>	<b>34</b>			<b>51.00</b>
7	<b>Roof Zinc</b>	Cibitung To Tj.Priuk	48	Diesel Truck 35 ton	0.94	45.50
		Prot T.Priuk ToPdg	1,230	Coastal Shipping	0.27	332.10
		Port To Warehouse	8	Diesel Truck 35 ton	0.94	7.05
		Warehouse - Supplier	7.5	Diesel Truck 35 ton	0.94	7.05
		Supplier To Site	7.5	Diesel Truck 15ton	1.50	11.25
		<b>Total</b>	<b>1,391</b>			<b>427.25</b>
8	<b>Ceramic</b>	Cibitung To Tj.Priuk	49	Diesel Truck 35 ton	0.94	45.78
		Prot T.Priuk Padang	1,200	Coastal Shipping	0.27	332.10
		Port To Warehouse	8	Diesel Truck 35 ton	0.94	7.05
		Warehouse-Supplier	7.5	Diesel Truck 35 ton	0.94	7.05
		Supplier To Site	7.5	Diesel Truck 15 ton	1.50	11.25
		<b>Total</b>	<b>1,391</b>			<b>427.53</b>

Sumber : Hasil Analisis,2017

#### 4.6. Energi Terkandung Setiap Bahan

Energi terkandung setiap bahan terdiri kepada dua energi terkandung yaitu energi produksi bahan dan energi terkandung transportasi bahan. Untuk menghitung energi terkandung setiap bahan adalah dengan menambahkan nilai energi terkandung produksi setiap bahan dengan nilai energi terkandung transportasi setiap bahan, dalam unit MJ/ton, maka hasil nilai energi terkandung setiap bahan dapat diketahui. Hasil penilaian nilai energi terkandung setiap bahan utama rumah R-1 ditunjukkan oleh tabel 7 berikut ini.

**Tabel 7:** Nilai Energi Terkandung Setiap Bahan (R-1) Di Kota Padang

No	Materials	(a). Rate EmE Materials Production (MJ/tons)	(b) RateEmE Materials Transport (MJ/tons)	(a)+(b) Total Rate EmE Materials (MJ/tons)
1	Cement	4,510	21.60	4,531
2	Iron	34,000	465.55	34,465
3	Concrete	1,700	18.00	1,718
4	Playwood	10,400	311.10	10,711
5	Timber	2.000	163.04	2,163
6	ClayBrick	1,300	51.00	1,351
7	Roof Zinc	53,100	427.25	53,527
8	Ceramic	5000	427.53	5,427

Sumber : Hasil Analisis,2017

#### 4.7. Analisis Energi Terkandung Berbanding Keluasan Lantai

Untuk penilaian nilai energi terkandung di dalam bahan bangunan berbanding luas lantai. Pertama mengkonversi nilai energi terkandung keseluruhan setiap bahan dari unit Mega Joule (MJ/ton) kepada unit Giga Joule (GJ). Konversi unit (MJ/ton) kepada unit (GJ) adalah 1/1000, dimana 1000 Mega Joule (MJ) sama dengan 1 Giga Joule (GJ). Kedua membagi nilai energi terkandung unit (GJ) dengan luas lantai masing masing bangunan unit ( $m^2$ ), maka hasil nilai energi terkandung dalam unit ( $GJ/m^2$ ) berbanding luas lantai bangunan yang dikaji dapat diketahui.

Analisis perhitungan energi terkandung penilaian bangunan untuk masing-masing bangunan rumah objek studi, analisis akan menilai kepada tiga hasil nilai energi terkandung: Pertama nilai keseluruhan energi terkandung setiap bahan dalam unit (MJ/ton). Kedua nilai energi terkandung dalam unit Giga Joule (GJ). Ketiga nilai energi terkandung dalam unit ( $GJ/m^2$ ) berbanding dengan luas lantai. Untuk mengetahui rata-rata nilai energi terkandung berbanding luas lantai rumah objek studi penilaian bangunan dalam unit ( $GJ/m^2$ ) adalah, menambahkan nilai-nilai hasil energi terkandung setiap bahan dan nilai energi terkandung setiap bangunan rumah objek studi dibagi dengan jumlah unit bangunan rumah yang diteliti. Maka nilai rata-rata energi terkandung di dalam badan rumah objek studi dapat di ketahui. Berikut analisis perhitungan energi terkandung berbanding luas lantai untuk rumah pilot studi ditunjukkan oleh tabel 8, dan untuk lima rumah kajian penilaian bangunan, ditunjukkan oleh

tabel 9 sampai tabel 13. Rata-rata nilai energi terkandung enam rumah kajian penilaian bangunan di kota Padang ditunjukkan oleh tabel.14 berikut ini.

**4.7.2. Analisis Rumah Penilaian Bangunan**

Analisis perhitungan rata-rata nilai energi terkandung rumah penilaian bangunan di tunjukkan oleh tabel 8 hingga tabel 13 berikut ini. Tabel 14 menunjukkan hasil perhitungan energi terkandung 6 rumah objek studi seperti ditunjukkan berikut ini .

**Tabel 8 :** Energi terkandung perbandingan keluasan lantai rumah penilaian bangunan (R.1) Lb 600.m<sup>2</sup>

No	Materials	Mat Qtt (tons)	EmE Mat (MJ/tons)	Total EmE (MJ/tons)	Value EmE (GJ)	Value EmE (GJ/m <sup>2</sup> )
1	Cement	49.74	4,551	226,366	226.366	0.377
2	Iron	25.05	34,465	863,348	863.348	1.438
3	Concrete	156.47	1,711	267,720	267.72	0.446
4	Playwood	1.75	10,711	18,744	18.74	0.031
5	Timber	14.25	2,163	30,822	30.82	0.051
6	Clay Brick	103.62	1,351	139,990	139.99	0.233
7	Roof Zinc	3.51	53,527	187,879	187.87	0.313
8	Ceramic	13.20	5,427	71,636	71.63	0.119
<b>Total</b>				<b>1,806.484</b>	<b>3.010</b>	

Sumber : Hasil Analisis,2017

**Tabel 9 :** Energi terkandung perbandingan keluasan lantai rumah penilaian bangunan (R.2) Lb 638..m<sup>2</sup>

No	Material	Mat Qtt (ton)	EmE Mat MJ/ton	Total EmE (MJ/ton)	Value EmE (GJ)	Value EmE (GJ/m <sup>2</sup> )
1	Cement	43.40	4,551	197,513	197.51	0.309
2	Iron	30.87	34,465	1,063,93	1,063.3	1.667
3	Concrete	277.30	1,711	476,401	476.40	0.746
4	Plywood	2.03	10,711	21,743	21.74	0.034
5	Timber	21.50	2,163	46,505	46.51	0.072
6	Brick	106.87	1,351	144,381	144.38	0.226
7	Zinc	2.96	53,527	158,440	158.44	0.248
8	Ceramic	12.76	5,427	69,248	69.24	0.108
<b>Total</b>						<b>3.410</b>

Sumber : Hasil Analisis,2017

**Tabel 10 :** Energi terkandung perbandingan keluasan lantai rumah penilaian bangunan (R.3) Lb 312 m<sup>2</sup>lantai

No	Materials	Mat Qtt (ton)	EmE Mat (MJ/ton)	Total EmE (MJ/ton)	Value EmE (GJ)	Value EmE (GJ/m <sup>2</sup> )
1	Cement	25.60	4,551	116,505	116.50	0.373
2	Iron	12.79	34,465	440,807	440.80	1.412
3	Concrete	114.95	1,718	197,484	197.48	0.632
4	Playwood	1.40	10,711	14,941	14.94	0.047
5	Timber	15.15	2,163	32,770	32.77	0.105
6	Clay Brick	62.32	1,351	84,194	84.19	0.269
7	Roof Zinc	1.46	53,527	78,256	78.26	0.250
8	Ceramic	7.48	5,427	40,593	40.59	0.130
<b>Total</b>						<b>3.218</b>

Sumber : Hasil Analisis,2017

**Tabel 11:** Energi terkandung perbandingan keluasan rumah penilaian bangunan (R.4) Lb 670.m<sup>2</sup>

No	Material	Mat Qtt (ton)	EmE Mat MJ/ton	Total EmE (MJ/ton)	Value EmE (GJ)	Value EmE (GJ/m <sup>2</sup> )
1	Cement	55.50	4,551	252,580	252.58	0.376
2	Iron	30.12	34,465	1,038,08	1,038	1.549
3	Concrete	270.58	1,718	464,856	464.85	0.693
4	Plywood	3.00	10,711	32,133	32.13	0.047
5	Timber	26.01	2,163	56,259	56.25	0.083
6	Brick	112.64	1,351	152,176	152.18	0.227
7	Zinc	3.17	53,527	169,681	169.68	0.253
8	Ceramic	13.40	5,427	72,721	72.72	0.108
<b>Total</b>						<b>3.336</b>

Sumber : Hasil Analisis,2017

**Tabel 12:** Energi terkandung perbandingan keluasan lantai rumah penilaian bangunan (R.5) Lb 575. m<sup>2</sup>

**Tabel 13:** Energi terkandung perbandingan keluasan lantai rumah penilaian bangunan (R.6) Lb 465 m<sup>2</sup>

No	Material	Mat Qtt (ton)	EmE Mat MJ/ton	Total EmE (MJ/ton)	Value EmE (GJ)	Value EmE (GJ/m <sup>2</sup> )
1	Cement	57.25	4,551	260,544	260.54	0.453
2	Iron	27.61	34,465	951,578	951.57	1.654
3	Concrete	248.17	1,718	426,356	426.36	0.741
4	Plywood	3.36	10,711	35,988	35.98	0.062
5	Timber	30.58	2,163	66,144	66.14	0.115
6	Brick	89.95	1,351	121,522	121.52	0.211
7	Zinc	2.43	53,527	130,071	130.07	0.226
8	Ceramic	11.50	5,427	62,410	62.41	0.108
<b>Total</b>						<b>3.570</b>

Sumber : Hasil Analisis,2017

No	Material	Mat Qtt (ton)	EmE Mat MJ/ton	Total EmE (MJ/ton)	Value EmE (GJ)	Value EmE (GJ/m <sup>2</sup> )
1	Cement	47.50	4,551	216,172	216.72	0.466
2	Iron	25.72	34,465	886,612	886.61	1.906
3	Concrete	202.19	1,718	347,362	347.36	0.747
4	Plywood	2.20	10,711	23,564	23.56	0.050
5	Timber	16.38	2,163	35,429	35.42	0.076
6	Brick	82.88	1,351	111,970	111.97	0.240
7	Zinc	1.62	53,527	86,714	86.71	0.186
8	Ceramic	10.23	5,427	55,518	55.51	0.119
<b>Total</b>						<b>3.790</b>

Sumber : Hasil Analisis,2017

Tabel14 : Rata-rata energi terkandung berbanding luas lantai6 rumah objek kajian (GJ/m<sup>2</sup>)

No	Materials	(Res.1)	(Res.2)	(Res.3)	(Res.4)	(Res.5)	(Res.6)	Total Value (GJ)	Average Value (GJ/m <sup>2</sup> )
	Floor Area	600. m <sup>2</sup>	638 m <sup>2</sup>	312 m <sup>2</sup>	670 m <sup>2</sup>	575 m <sup>2</sup>	465 m <sup>2</sup>		
1	Cement	0.377	0.309	0.373	0.376	0.453	0.466	2.354	0.392
2	Iron	1.438	1.667	1.412	1.549	1.654	1.906	9.626	1.604
3	Concrete	0.446	0.746	0.632	0.693	0.741	0.747	4.005	0.667
4	Playwood	0.031	0.034	0.047	0.047	0.062	0.050	0.271	0.045
5	Timber	0.051	0.072	0.105	0.083	0.115	0.076	0.502	0.083
6	Clay Brick	0.233	0.226	0.269	0.227	0.211	0.240	1.406	0.234
7	Roof Zinc	0.313	0.248	0.250	0.253	0.226	0.186	1.476	0.246
8	Ceramic Tile	0.119	0.108	0.130	0.108	0.108	0.119	0.692	0.115
<b>Total (GJ/m<sup>2</sup>)</b>		<b>3.010</b>	<b>3.410</b>	<b>3.218</b>	<b>3.336</b>	<b>3.570</b>	<b>3.790</b>	<b>20.332</b>	<b>3.388</b>

Sumber : Hasil Analisis,2017

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

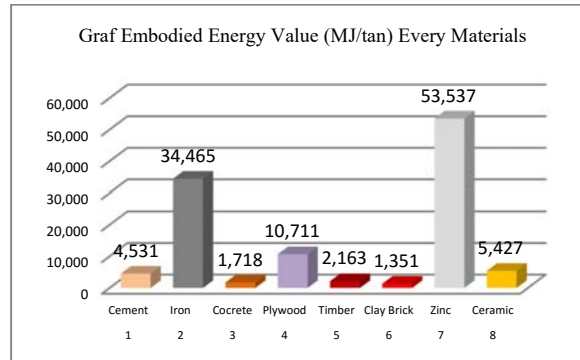
### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan objektif studiyang telah dijalankan,hasilnilai energi terkandung setiap bahan, bangunan utama rumah kajian,dan rata-rata nilai energi terkandung berbanding keluasan lantai, lima rumah objek studi penilaian bangunan dijelaskan sebagai berikut:

#### 5.1.1. Nilai Energi Terkandung Setiap Bahan

Berdasarkan studi yang telah dijalankan terhadap rumah pilot studi, penilaian energi terkandung delapan bahan bangunan utama rumah objek studi di Kota Padang Provinsi Sumatera Barat, hasil studi

seperti ditunjukkan oleh gambar 4. Nilai energi terkandung dalam setiap bahan-bahan bangunan utama ini termasuk energi transportasi. Nilai energi terkandung untuk bahan semen adalah 4,531 MJ/ton. Besi 34,465 MJ/ton. Beton 1,718 MJ/ton, Plywood 10,711 MJ/ton. Kayu 2,163 MJ/ton. Batu bata 1,351 MJ/ton. atap zinc 53,527 MJ/ton. Keramik lantai 5,427 MJ/ton.



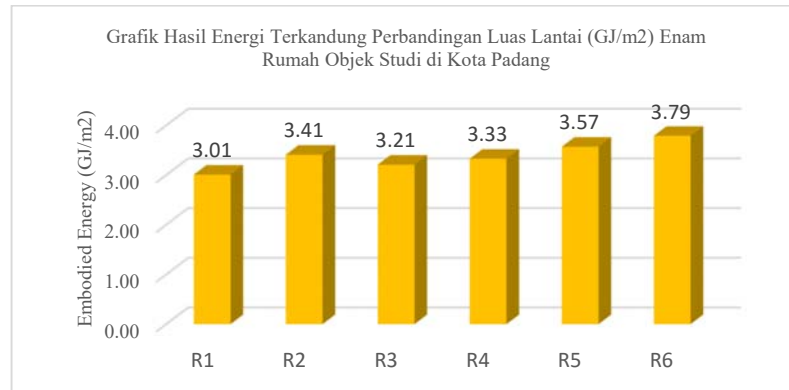
**Gambar 4:** Gambar graf hasil nilai energi terkandung setiap bahan utama rumah pilot studi di Kota Padang  
*Sumber : Hasil Analisis, 2017*

Dari delapan bahan bangunan utama yang dikaji nilai energi terkandung yang tertinggi adalah bahan atap *zinc* nilai 53,527 MJ/ton, dan bahan besi nilai 34,465 MJ/ton. Sedangkan nilai energi terkandung yang terendah adalah bahan batu bata nilai 1,351 MJ/ton. Faktor utama penyebab tingginya nilai energi terkandung bahan atap *zinc* dan bahan besi adalah, disamping produksi bahan-bahan ini merupakan bahan dan energi intensif, sumber industri pembuatan jarak yang sangat jauh, hal ini akan berdampak kepada tinggi pula penggunaan energi untuk transportasi dari industri pembuatan hingga ke lokasi pembangunan.

### 5.1.2 Energi Terkandung Perbandingan Luas Lantai

Berdasarkan studi yang dijalankan kepada enam unit rumah studi penilaian bangunan seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5 di bawah ini. Nilai energi terkandung berbanding luas lantai untuk setiap rumah objek studi adalah untuk Rumah (R.1) nilai 3.01 GJ/m<sup>2</sup> (R.2) nilai 3.41 GJ/m<sup>2</sup>. Rumah (R.3) 3.21 GJ/m<sup>2</sup>. (R.4) 3.33 GJ/m<sup>2</sup>. (R.5) 3.57 GJ/m<sup>2</sup>. Rumah (R.6) 3.79 GJ/m<sup>2</sup>. Jumlah keseluruhan energi terkandung untuk lima rumah kajian penilaian bangunan adalah 20.32 GJ/m<sup>2</sup>.





**Gambar 5** : Hasilenergi terkandung berbanding luas lantai (GJ/m<sup>2</sup>) enam rumahkediman penilaian bangunan  
*Sumber : Hasil Analisis,2017*

Rata-rata nilai energi terkandung di dalam badan berbanding luas lantai dari delapan bahan bangunan utama untuk lima rumah studi penilaian bangunan di Kota Padang Provinsi Sumatera Barat, adalah 3.38GJ/m<sup>2</sup>. Nilai energi terkandung tertinggi adalah rumah (R.6) nilai 3.79 GJ/m<sup>2</sup> ,dan nilai energi terkandung terendah adalah untuk rumah (R.1) nilai 3.01 GJ/m<sup>2</sup>.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kepada studi yang telah dijalankan terhadap penilaian energi yang terkandung dalam bahan bangunan setiap bahan utama dan energi yang terkandung berbanding keluasan lantai untuk rumah kediaman kelas menengah bertingkat di Kota Padang Sumatera Barat, untuk meminimalkan penggunaan energi terkandung dalam bahan bangunan dengan sumber regional seperti, Besi, Atap Zinc dan Keramik lantai di Kota Padang, penulis memberikan beberapa saran kepada perancang/ arsitek dan kontraktor selaku praktisi pembangunan sebagai berikut :

- a. Diharapkan kepada praktisi pembangunan seperti, arsitek, kontraktor dan pengembang mengetahui jenis bahan-bahan bangunan yang memiliki energi terkandung yang rendah.
- b. Disarankan kepada perancang bangunan (arsitek) kontraktor dan pengembang perumahan untuk memilih menggunakan bahan- bahan bangunan yang ramah lingkungan dan energi terkandung bahan bangunan yang rendah.
- c. Untuk meminimalkan nilai energi terkandung setiap beban khususnya bahan sumber regional seperti bahan besi tulangan, atap zinc, dan keramik lantai untuk bangunan di Kota Padang sebaiknya menggunakan bahan - bahan bangunan dengan sumber industri alternatif yang terdekat dari Kota Padang seperti dari Sumatera Utara (Kota Medan) karena hal ini memiliki jarak pengangkutan bahan yang relatif dekat lebih kurang jarak 700 km dari Kota Padang.
- d. Jika menggunakan bahan - bahan bangunan sumber industri dari Pulau Jawa seperti Propinsi Banten, Propinsi Jawa Barat dan Jakarta hal ini akan berdampak kepada energi terkandung pengangkutan

- bahan (transport energi) yang sangat tinggi karena memiliki jarak pengangkutan bahan yang sangat jauh lebih kurang 1.400 km dari Kota Padang.
- e. Sebaiknya pemerintah pusat perlu menempatkan lokasi industri bahan- bahan bangunan utama seperti industri besi, Industri atap zing, industri keramik lantai dan industri lainnya ada di setiap propinsi di Indonesia untuk minimalkan energi terkandung dalam bahan bangunan, khususnya meminimalkan energi transportasi/ pengangkutan bahan tidak terpusat di Pulau Jawa, karena ini berdampak kepada energi produksi bahan yang tinggi dan energi pengangkutan bahan yang sangat tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.Utama,(2006)Embodied Energy of Building Envelopes and itsInfluenceon Cooling Load in Typical Indonesian Middle Class Houses,The 2 nd Joint InternationalConference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)”F-021 (O) 21-23November,Bangkok,Thailand.
- A Utama,(2009) Indonesian residential high rise buildings: A life cycleEnergy Assessment,Energy and Buildings 41- 1263-1268.
- ANLT.USA (2010) Argone NationalLaboratoryof Transportation. Embodied Energy Transportation of Materials.Materials Life LEED,USA.
- BPPT (2013) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Perencanaan Efisiensi dan Intensitas Energi Balai Besar Teknologi Energi.
- Crowther P.(1999) Design for disassembly to recover embodied energy. In: The 16 th annual conference on passive and low energy architecture. 1999.
- Cole, R.J.and Kernan, P.C.(1996), Life-Cycle Energy Use in Office Buildings, Building and Environment, Vol. 31, No. 4, pp. 307-317.
- Ding,G.(2004) The development of a multi-criteria approach for the measurement of Sustainable performance for built projects and facilities. Ph.D. Thesis,University of technology, Sydney, Australia; 2004.
- Dixit,MK et al, (2010) Identification of parameters for embodied energy measurement: A Literature Review, Energi and Buildings 42 (2010) 1238-1247.
- Dixit,MK.et al,(2012). Need for an embodied energy measurement protocol for buildings:A Reviewpaper.Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 3730– 3743.
- Dixit,(2013). Embodied Energy Calculation: Method and Guidelines for a Building and its Constituent Materials, Ph.D.Thesis,Texas A&M University,College Station,TX,USA, 2013.
- Hammond, G.P.and Jones, C I.(2008) Embodied energy and carbon in construction materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy, 161 (2). pp. 87-98. ISSN 1751-4223
- Jayeshkumar S (2015) Comparison of Carbon Emission &Embodied Energy between Brickwork & Wafflewall method for Industrial Building.International Journal of Innovative and EmergingResearch in Engineering Volume 2, Issue 6.
- Lucuik, (2006). “Material and operational environmental impacts of building insulation: how much is enough?” In EIC Climate Change Technology, 2006 IEEE (pp. 1-13).
- Langston, (2008). “Reliability of building embodied energy modeling: an analysis of 30 Melbourne case studies.” Construction Management and Economics, 26(2), 147-160.

- Mari.TS (2007) Embodied energy of building materials A comparative analysis of terraced houses in Malaysia, 41st Annual Conference of the Architectural Science Association ANZAScA 166 - 167, at Deakin University Australia.
- Pullen.S. (1996) Data Quality of embodied energy methods. In: Proceedings of embodied Energy seminar: current state of play. 1996.
- Peuportier,(2001).“Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context.” *Energy and Buildings*, 33(5), 443-450.
- T.Ramesh(2010), Life cycle energy analysis of buildings: An overview *Energy and Buildings* 42 1592–1600.
- Yasantha U.G,(2007) Environmental, economic and social analysis of material for doors and windows in Sri Lanka, *Building and Environment* 42 (5) 2141–2149.
- Vukotic, L.(2010). “Assessing embodied energy of building structural elements.” *Engineering Sustainability*, 163(ES3), 147-158.