

KAJIAN KONSUMSI ENERGI PADA ATAP TUMBUHAN (*GREEN ROOF*)

Abdul Rahman¹⁾

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besar temperatur atap tumbuhan dan atap konvensional, serta besar beban kalor pendingin atau konsumsi energi antara keduanya. Melalui metode eksperimen model, atap tumbuhan dan atap konvensional dirancang memiliki dimensi, material, ventilasi dan sudut orientasi yang sama. Perbedaan yang mendasar terdapat pada lapisan penyusun material masing-masing atap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur maksimum atap tumbuhan hanya sebesar 29,7 °C sedangkan atap konvensional sebesar 35,6 °C. Selain itu, konsumsi energi atap tumbuhan lebih rendah sekitar 1652,042 kJ dibanding jika menggunakan atap konvensional.

Kata kunci: Atap tumbuhan, atap konvensional, temperatur atap, konsumsi energi.

I. PENDAHULUAN

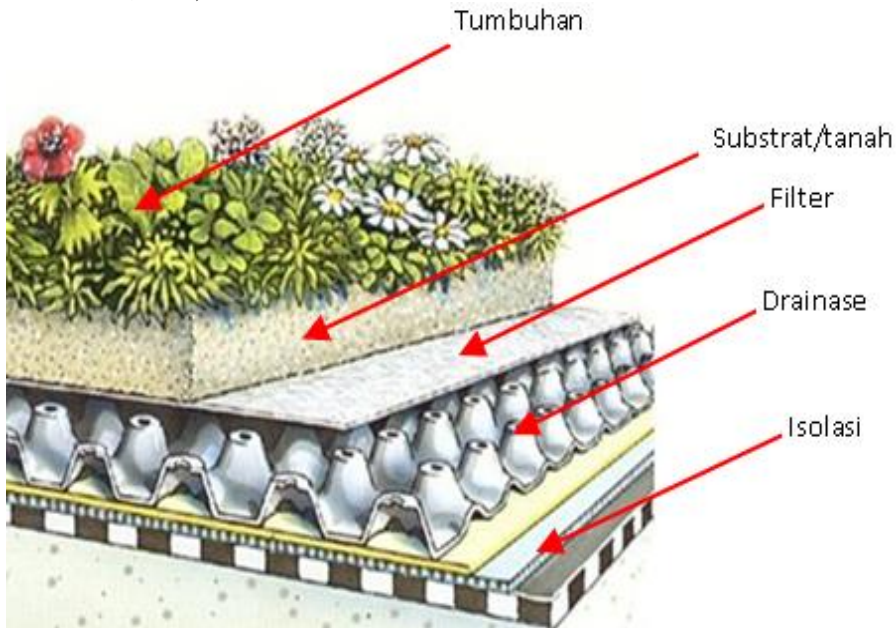
Green roof (*atap tumbuhan*) telah menjadi suatu trend alternatif untuk memanfaatkan energi secara bijak di banyak negara industri seperti: AS dan Eropa. Negara Yunani melalui penelitian A. Niachou et al (2001) telah berhasil menemukan bahwa pemasangan atap tumbuhan pada suatu sekolah dapat menurunkan pemakaian energi tahunan di atas 40% Sementara Negara Asia yang paling gencar dalam penelitian ini adalah Jepang, Cina, Qatar dan Singapura. Singapura adalah salah satu negara beriklim tropis yang telah melakukan berbagai riset atap tumbuhan, baik tipe horisontal dan vertikal, dan telah menemukan bahwa kedua jenis atap tersebut mampu mengurangi beban pendinginan (*cooling load*) serta menurunkan konsumsi energi tahunan (Wong et All, 2006). Keuntungan utama yang dialami jika menggunakan atap tumbuhan adalah: memperpanjang umur atap bangunan (A.Teemusk, 2009), dapat mengurangi peningkatan panas pemukiman (*heat island effect*) (Banting, 2005), keindahan arsitektur serta keragaman hayati (*biodeversity*)(Kohler,2003). Hasil penelitian lain menunjukkan kontribusi atap tumbuhan dalam mendinginkan ruangan selama periode musim panas dan pemakaian pemanas ruangan selama musim dingin. Total pemakaian energi tahunan dapat direduksi hingga 44% dalam kasus bangunan yang tidak terisolasi sempurna (A.Niachou,2001). Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar temperatur atap dan beban kalor pendingin atau konsumsi energi pada atap konvensional dan atap tumbuhan. Penelitian ini diharapkan menjadi suatu bahan pustaka bagi para Insinyur sipil, Arsitektur dan Mekanikal dalam merancang suatu bangunan beriklim tropis yang hemat energi dan ramah lingkungan.

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Konstruksi dan Keseimbangan Kalor Atap Tumbuhan

A. Konstruksi Atap Tumbuhan

Atap tumbuhan (*green roof*) adalah jenis atap yang terdiri dari 5 (lima) lapisan penyusun utama, yaitu: lapisan tanaman (*vegetation layer*), lapisan tanah (*substrat, growing media*), lapisan penyaring (*filter layer*), lapisan irigasi (*drainage layer*) dan lapisan isolasi kedap air (*waterproof membrane*) (Del Bario,1998 dan Ould boukhitine,2011).

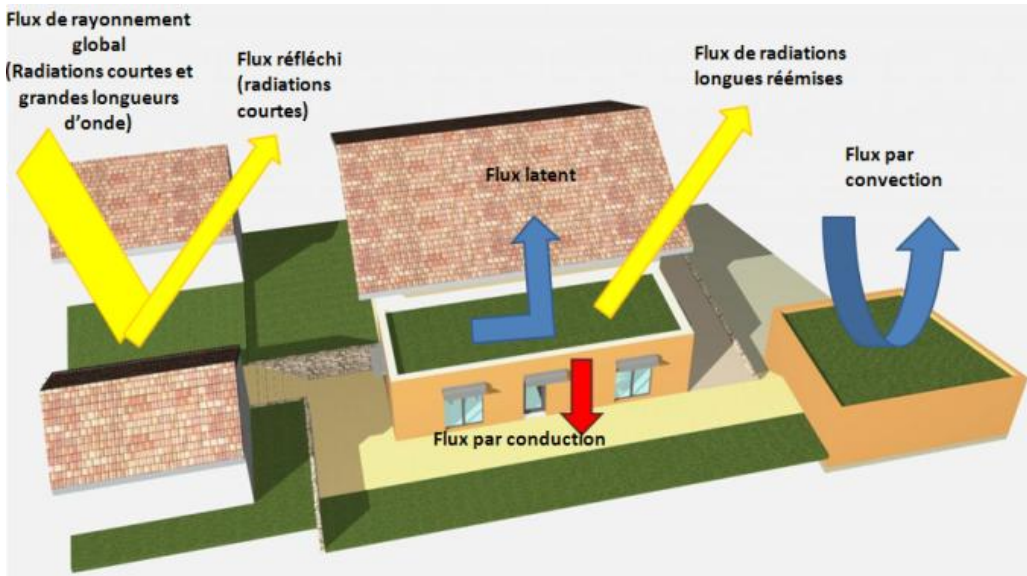


Gambar 1. Lapisan atap tumbuhan (www.dachdekker-stoehr.de,2012)

B. Keseimbangan Energi Atap tumbuhan

Keseimbangan energi pada atap tumbuhan adalah keseimbangan pada lapisan tanah (*substrat*) dan keseimbangan pada tumbuhan. Hal ini meliputi perpindahan kalor radiasi global (*irradiance*), radiasi gelombang pendek dan panjang pada atap tumbuhan, radiasi aliran panas atap, konveksi pada daun dan evapotranspirasi antara daun dan tanah (Sailor,2008).

Keseimbangan energi pada tanah dan properti termal yang dimiliki diekspresikan melalui perpindahan kalor sensibel dan laten tanah, dan konveksi yang terjadi antara permukaan tanah dan daun.



Gambar 2. Kesetimbangan kalor pada atap tumbuhan (Ouldboukhitine,2011)

Sedangkan kesetimbangan energi pada kanopi daun di rumuskan melalui perpindahan kalor intensitas sinar matahari, perpindahan kalor laten dan sensibel serta perpindahan kalor akibat pernafasan tumbuhan atau evapotranspirasi (Sailor,2008).

C. Fluks Kalor Pada Bangunan

Suatu bangunan yang berinteraksi dengan udara luar dan akan mengalami proses pertukaran energi berupa fluks kalor. Fluks kalor tersebut muncul akibat radiasi sinar matahari, perbedaan temperatur interior dan eksterior bangunan serta sifat dan karakteristik bangunan.

- **Perpindahan panas melalui sinar matahari (*solar radiation*)**

Matahari memancarkan sinar radiasi $[(\varphi)_{ir}]$ pada suatu benda melalui perambatan gelombang elektromagnetik. Gelombang tersebut terserap secara sempurna pada suatu benda hitam (*black body*). Fluks kalor dari matahari tersebut diekspresikan melalui persamaan Steven-Boltzman di bawah ini (Salagnac, 2010).

$$\varphi_{ir} = \sigma T^4 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana (σ) konstanta Stephan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$) dan T temperatur permukaan benda (K).

- **Fluks kalor konduksi (*heat convection*)**

Fluks kalor konduksi $(\varphi_{1,cond})$ adalah perpindahan panas akibat perbedaan temperatur atom yang bergetar dan gerak bebas elektron dari suatu material. Kalor yang berpindah diterjemahkan menurut hipotesa Fourier bahwa kerapatan fluks adalah sebanding dengan gradien temperturnya [Salgnac, 2010].

$$\vec{\phi} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} (T) \dots\dots\dots(2)$$

Atau dalam bentuk aljabar dirumuskan menjadi:

$$\phi_{\text{cond}} = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana (λ) konduktivitas termal (W/m.K), x adalah panjang aliran fluks (m) dan S adalah luas permukaan yang dilewati oleh fluks (m²), T temperatur permukaan benda (K).

- **Fluks kalor Konveksi (heat conduction)**

Fluks kalor Konveksi adalah proses perpindahan panas antara material bangunan dan fluida. Hal ini dijabarkan melalui mekanisme perpindahan panas Newton di bawah ini:

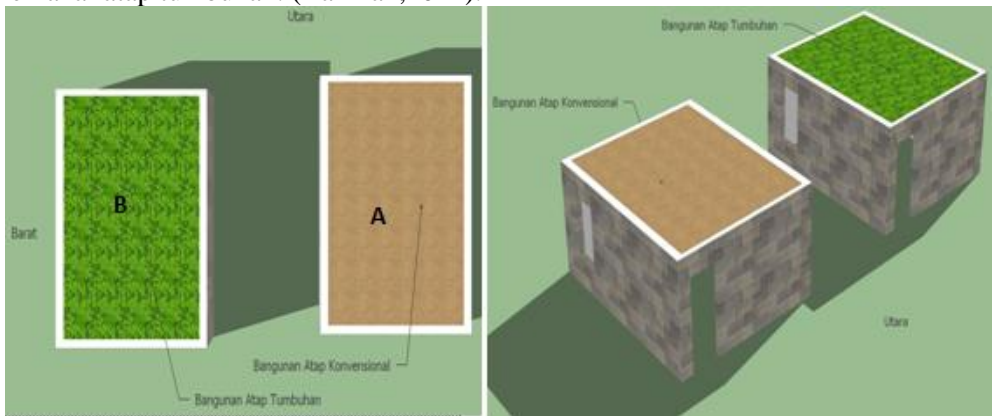
$$\phi_{\text{conv}} = h S (\Delta T) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana (h) koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m².K), (ΔT) adalah perbedaan temperatur antara benda padat dan udara (K).

II. METODE PENELITIAN

A. Presentasi model bangunan

Pengujian dilakukan pada model bangunan yang terletak di Laboratorium Teknik Energi. Model terdiri dari dua jenis bangunan yakni : bangunan A dan bangunan B. Bangunan A menggunakan atap konvensional dan bangunan B memakai atap tumbuhan. (Rahman,2012).

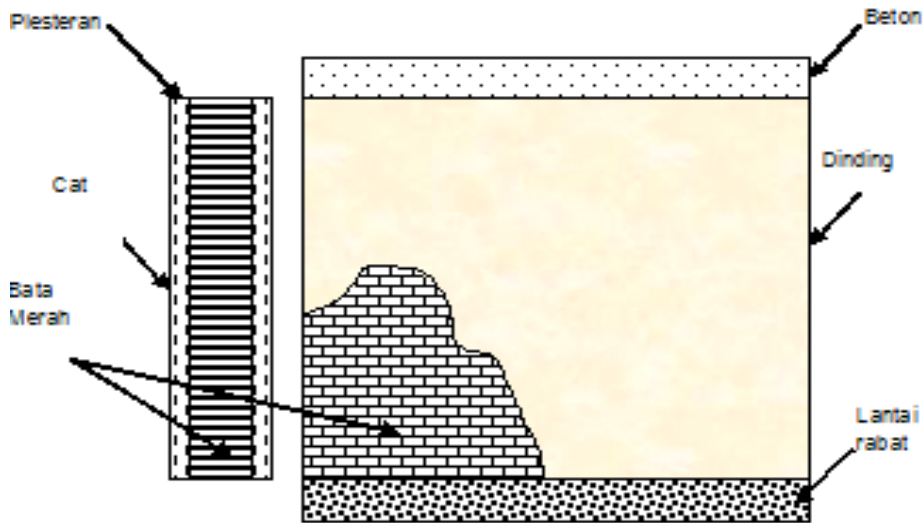


Gambar 3. Proyeksi dua model bangunan

B. Bangunan Atap konvensional

Model bangunan atap konvensional dirancang memakai material alami yang sering digunakan seperti: batu merah, pasir, cat dan campuran beton. Selain itu, model dirancang hanya memiliki satu ruangan, satu buah jendela dan satu buah pintu. Udara yang mengalir masuk melalui celah-celah bangunan diasumsi terjadi secara langsung

atau melalui ventilasi alamiah. Luas dan Volume bangunan masing-masing 1 m^2 dan 1 m^3 .



Gambar 4. Detail model bangunan atap konvensional

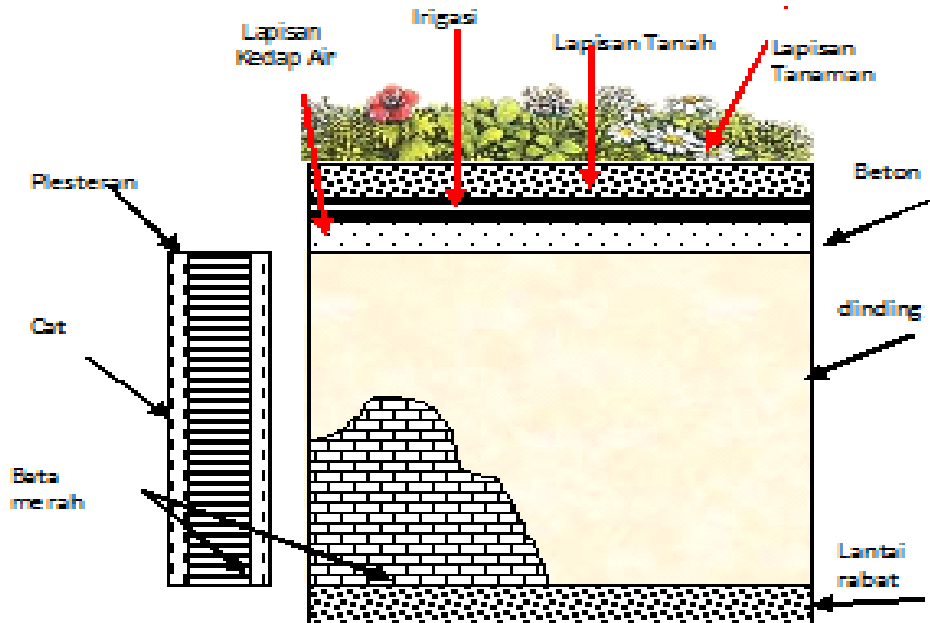
Tabel 3. Menunjukkan nilai konduktivitas termal yang digunakan pada model bangunan atap konvensional dan nilai tersebut menentukan variasi temperatur bangunan. Nilai k setiap material bangunan di tabel 3 juga digunakan untuk jenis atap tumbuhan.

Tabel 1. Konduktivitas termal material atap konvensional (Moran,2003)

Jenis material	Tebal (m)	K ($\text{Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$)
Bata merah	0.12	1,1
Plesteran	0.02	0,48
Beton	0.10	1,4
Pintu kayu	0.05	0,20
Kaca jendela	0,002	1,88

C. Bangunan Atap tumbuhan

Material dasar atap tumbuhan sama dengan atap konvensional, namun yang membedakan adalah penambahan lapisan atap tumbuhan pada bagian atas bangunan, seperti terlihat pada gambar 5 dan tabel 1 di bawah ini.



Gambar 5. Detail model bangunan atap tumbuhan

Tabel 2. Material dan ketebalan atap tumbuhan

Jenis material	Tebal (m)
Bata merah	0.12
Plesteran	0.02
Beton	0.10
Cat dan acian	0.002
Pintu kayu	0.01
Jendela kayu	0.01
Lapisan tanah	0.12
Lapisan anti air	0.002
Lapisan tumbuhan	0.3

D. Metode perhitungan konsumsi energi

Metode perhitungan konsumsi energi pada penelitian ini menggunakan metode *Degrés Jours* (D_j). D_j adalah metode perhitungan beban kalor ruangan perhari (*jours*) terhadap perubahan temperatur lingkungan dan setting temperatur ruangan yang dikeluarkan oleh CoSTIC dan divalidasi oleh *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) Perancis. Kalkulasi kebutuhan energi menurut CoSTIC dijelaskan sebagai berikut (Hernot,2010):

$$D_j = \sum_{\text{jours}} (\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}) \text{ [kJ]} \dots\dots\dots (5)$$

Sedangkan konsumsi energi (Ec) pada bangunan di rumuskan melalui persamaan:

$$E_c = 24 \times 3600 \times B.V.D_j \text{ [kJ]} \dots\dots\dots (6)$$

Untuk faktor efisiensi (V) diperoleh :

$$B = G(1-F), \dots\dots\dots (7)$$

Dimana temperatur ruangan θ_{int} , temperatur lingkungan θ_{ext} , $G=0,37$ dan F rugi-rugi kalor 10 % dan $V=0,9$.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan peneliti menemukan berbagai fenomena fisik pada kedua model tersebut. Hasil penelitian menunjukkan selama periode musim panas bangunan mengalami pembebanan kalor maksimum.

A. Atap konvensional

Atap konvensional dirancang menggunakan material dinding dan atap yang ada dipasaran. Struktur dinding terdiri batu merah, plesteran, acian dan cat (biru) dan konstruksi atap terdiri dari beton dan lantai dilapisi dengan rabat beton. Orientasi bangunan utara dan terletak pada 5°09" LS dan 119°23"BT.

Tabel 3. Fenomena temperatur pada model bangunan atap konvensional (3 Oktober 2012)

Waktu	Atmosfir	Atap	Dinding Utara	Dinding Selatan	Dinding Barat	Dinding Timur
6614	38,8	39,0	31,8	32,3	33,5	32,4
6615	40,1	39,7	31,8	32,4	33,5	33,1
6616	36,4	39,1	32,7	32,9	33,9	34,1
6617	35,5	37,6	32,1	32,1	32,6	33,6

Tabel 3. mendeskripsikan temperatur maksimum atap konvensional adalah 39,7 °C dan temperatur rata-rata dinding utara dan selatan lebih rendah dibandingkan temperatur rata-rata dinding timur dan barat, hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh A. Teemusk (2009) dan Rahman (2012).

B. Atap Tumbuhan

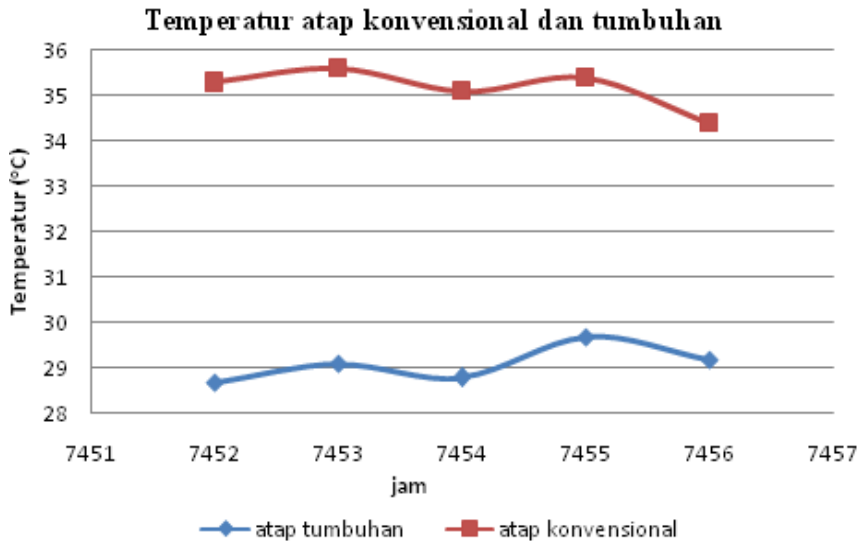
Tabel 4. Fenomena temperatur pada model bangunan atap tumbuhan (3 Oktober 2012)

Waktu	Atmosfir	Atap	Dinding Utara	Dinding Selatan	Dinding Barat	Dinding Timur
6614	38,8	30,5	30,1	31,7	32,3	31,8
6615	40,1	30,7	30,1	31,1	31,6	31,6
6616	36,4	30,4	30,5	31,7	31,9	32,4
6617	35,5	30,2	30,7	31,2	31,4	32,0

Tabel 4. menjelaskan tentang temperatur maksimum atap tumbuhan adalah 30,7 °C pada kondisi temperatur lingkungan sebesar 40,1 °C. Kondisi ini terjadi pada penghujung musim kemarau di bulan oktober.

C. Perbandingan Temperatur dan Konsumsi Energi

Gambar 6 menunjukkan bahwa temperatur maksimum atap tumbuhan lebih rendah daripada temperatur atap konvensional yakni 29,7 °C dan 35,6 °C pada bulan Nopember. Besar selisih temperatur tersebut berpengaruh terhadap kebutuhan beban pendingin ruangan. Penjelasan ini pernah dikemukakan oleh Del Bario (1998), Ouldboukhitine (2011) .



Gambar 6. Grafik Fenomena temperatur pada dua bangunan model (Nopember 2012)



Gambar 7. Model dua atap bangunan

Tabel 5. Besar energi yang dibutuhkan oleh Atap konvensional (periode bulan Nopember dan Oktober 2012)

Σ hari	ΔT	Kalor (kJ)	Atap/D _J
2	16	32	
1	16.7	16.7	
1	14.6	14.6	
1	12.3	12.3	
1	12.6	12.6	
1	12.1	12.1	
1	12.4	12.4	
1	11.4	11.4	
9		124.1	

Tabel 6. Besar energi yang dibutuhkan oleh Atap Tumbuhan (periode bulan Nopember dan Oktober 2012)

Σ hari	ΔT	Kalor (kJ)	Atap/D _J
1	7.7	7.7	
1	7.5	7.5	
1	7.4	7.4	
1	7.2	7.2	
1	5.7	5.7	
1	6.1	6.1	
1	5.8	5.8	
1	6.7	6.7	
1	6.2	6.2	
9		60.3	

Dari kalkulasi menggunakan CoSTIC diperoleh konsumsi energi pada atap konvensional adalah 3213,46 kJ dan atap tumbuhan 1561,41 kJ. Nilai ini menunjukkan bahwa atap tumbuhan dapat menghemat konsumsi energi sebesar 1652,042 kJ (A.Niachou,2001 dan Del bario, 1998).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dan kajian yang dilakukan terhadap dua model atap, atap konvensional memiliki temperatur maksimum 39,7 °C dan atap tumbuhan sebesar 30,7 °C, pada saat temperatur lingkungan 40,1 °C. Hasil lain menunjukkan bahwa atap tumbuhan dapat mereduksi konsumsi energi tahunan sebesar 1652,042 kJ (51,4 %) dibandingkan atap konvensional. Kedua hasil tersebut menyimpulkan bahwa model bangunan atap tumbuhan dapat memperkecil fluktuasi temperatur atap dan memperkecil konsumsi energi bangunan dibandingkan atap konvensional.

V. DAFTAR PUSTAKA

- A.Niachou et al, 2001. *Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy Performance*. Athens, Greece.
- A. Teemusk et al, 2009. *Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: a case study from Estonia*. Building and Environment 44 (3) (2009) 643–650.
- Banting, D. et al, 2005., *Report on the environmental benefits and costs of green rooftechnology for the City of Toronto*. Canada.
- Del Barrio EP, 1998. *Analysis of the green roofs cooling potential in buildings*. Energy and Buildings 1998;27(2):179e93.
- Hernot, Daniel, 2010. *Cours : Physique du Batiment et Contexte Enviromental* . Universite de La Rochelle, France.
- Lapisan Atap Tumbuhan. <http://www.dachdecker-stoehr.de/dachbegruenung.htm> pada tanggal 3 oktober 2012
- Koehler, M, 2003. *Plant survival research and biodiversity: lessons from Europe*,in: *Greening Rooftops for Sustainable Communities*. Chicago, 2003, pp. 313–322.
- Moran, J. et Al, 2003. *Introduction to Termal Systems Engineering*. Jhon Willey and Son, USA.
- Ouldboukhitine, S.-E. et al, 2011. *Assessment of green roof thermal behavior: A coupled heat and mass transfer Model*.Building and Environment 46 (2011) 2624e2631.
- Rahman, Abdul, 2012. *Kajian Numerik Perilaku Termo-Hidrik dan Investigasi Energi*

Pada Atap Tumbuhan Menggunakan Simulasi Dinamik TRNSYS. Sinergi. Vol. Oktober 2012, Makassar, Indonesia.

Sailor, D.J, 2008. *A green roof model for building energy simulation programs*. Energy and Buildings. 40, 1466-1478. Portland,OR,USA.

Salagnac, Patric, 2010. *Cours : Evaluation Energetique du Batiment*. Universite de La Rochelle. France.

Susca,T et al, 2011. *Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs*. Environmental Pollution 159 (2011) 2119e2126 New York City, NY 10025, USA

Wong et al, 2010. *Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls*. Building and Enviromental 45(2010) 663-672. Singapura.