

## POTENSI VERTICAL GREENERY SYSTEMS DI DALAM MENDUKUNG PENGHEMATAN ENERGI PADA BANGUNAN: Critical review

Ratih Widiastuti\*

\*) Corresponding author email : [ratihw@arsitektur.undip.ac.id](mailto:ratihw@arsitektur.undip.ac.id)

Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil Dan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro  
Jalan Prof. Soedarto S.H., No. 3, Tembalang, Semarang. 50275

---

### Article info

MODUL vol 22 no 2, issues period 2022

Doi : 10.14710/mdl.22.2.2022.70-79

Received : 5 september 2022

Revised : 15 november 2022

Accepted : 27 november 2022

### Abstrak

Strategi penggunaan vertical greenery systems pada bangunan diketahui dapat memberikan efek penurunan suhu. Akan tetapi terbatasnya kajian literature yang ada menjadikan kurangnya pemahaman terhadap vertical greenery systems. Tujuan dari critical review ini adalah untuk mengkaji aspek teknis yang terdapat di dalam studi vertical greenery systems. Ditemukan bahwa beberapa aspek utama perlu diperhatikan ketika melakukan studi vertical greenery systems yaitu meliputi pengaruh sistem struktur, kondisi iklim setempat, dan jenis tanaman yang digunakan. Kesimpulan utama yang didapatkan dari critical review ini adalah berdasarkan sistem strukturnya, vertical greenery systems dibagi menjadi green façades dan green walls. Review terhadap pengaruh iklim menunjukkan bahwa studi vertical greenery systems hanya terkonsentrasi di Eropa dan Asia. Diketahui pemilihan jenis tanaman juga harus disesuaikan dengan kondisi iklim setempat. Hal tersebut terkait dengan pengaruh ketebalan lapisan daun dan luas area dedaunan. Studi membuktikan bahwa vertical greenery systems memiliki kontribusi di dalam penurunan konsumsi energi pada bangunan, khususnya untuk pendinginan. Hasil dari critical review juga menemukan bahwa terdapat empat aspek utama yang menjadi kajian pada studi vertical greenery systems yaitu efek pembayangan, pendinginan, insulasi, dan penahan angin. Dimana, kajian terhadap efek pembayangan dan pendinginan adalah yang paling banyak didiskusikan.

**Kata kunci:** efek insulasi; efek pembayangan; efek penahan angin; efek pendinginan; green façades; green walls; selubung bangunan; vertical greenery systems

### PENDAHULUAN

Selama beberapa tahun terakhir, populasi manusia semakin bertambah dan menjadikan konsumsi energi semakin meningkat. Lebih lanjut, sebagian besar manusia menghabiskan waktunya di dalam bangunan yang secara otomatis meningkatkan kebutuhan pendinginan udara untuk menciptakan indoor environment yang nyaman.

Data dari European Commission menyebutkan 40% dari konsumsi energi terjadi pada bangunan (Siew et al., 2011). Pada kasus ini pemanasan dan pendinginan udara menjadi konsumsi energi terbesar. Di sisi lain, signifikan penghematan energi dapat dicapai oleh bangunan jika bangunan tersebut didesain dan dioperasikan dengan benar. Kondisi inilah yang mendorong para perencana bangunan untuk menciptakan desain bangunan yang mendukung konsep penghematan energi.

Diantara sekian banyak inovasi untuk mendukung penghematan energi pada bangunan, penghijauan bangunan secara vertikal atau lebih dikenal sebagai vertical greenery systems telah dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif yang dapat mendukung performa termal bangunan. Banyak perencana bangunan juga menggunakan vertical greenery systems untuk meningkatkan kualitas landscape di sekitar bangunan. Dengan konsep vertical greenery systems, mitigasi terhadap Urban Heat Island (UHI) dan upaya untuk penghematan energi dapat dicapai.

Namun terbatasnya kajian literature yang ada menjadikan kurangnya pemahaman terhadap vertical greenery systems. Untuk itu, dilakukanlah critical review terhadap penelitian-penelitian terdahulu untuk memberikan ulasan atau review terkait potensi vertical greenery systems sebagai elemen selubung bangunan. Diskusi mengenai tipe dan jenis vertical greenery systems disajikan untuk memberikan gambaran umum terkait konstruksi, elemen, dan teknik perawatan. Lebih lanjut, di dalam critical review ini juga akan membahas mengenai dampak termal yang diberikan oleh vertical greenery systems dalam kaitannya mitigasi terhadap

*Urban Heat Island (UHI)* dan upaya untuk penghematan energi pada bangunan.

### **Klasifikasi dan definisi vertical greenery systems**

Menurut (Perini et al., 2013) *vertical greenery systems* atau sistem penghijauan secara vertikal adalah istilah yang digunakan untuk menyebutkan semua bentuk penghijauan pada permukaan dinding bangunan. Baik itu yang ditanam secara langsung pada tanah, menempel pada dinding bangunan, atau pada panel-panel *modular* yang terpasang pada dinding bangunan. Lebih lanjut, *vertical greenery systems* dapat juga dideskripsikan sebagai dinding yang sebagian atau secara keseluruhan tertutup oleh tanaman (Yeh, 2015).

Berdasarkan sistem struktur, spesies tanaman, dan sistem pengairannya, *vertical greenery systems* dapat diklasifikasikan sebagai *green façades* dan *living walls* (Dunnett & Kingsbury, 2008a; Köhler, 2008). Tipe *vertical greenery systems* juga dapat dikarakteristikan berdasarkan bentuk pertumbuhan tanaman dan desainnya yaitu *climber green wall* yang berasal dari tanaman rambat dan *shrub green wall* yang berasal dari tanaman semak (Lee & Jim, 2017). Masing-masing dari tipe *vertical greenery systems* tersebut dapat diklasifikasikan lagi berdasarkan pada teknik penanamannya.

### **Green façades**

*Green façades* atau dinding hijau rambat merupakan tipe dari *vertical greenery systems* yang menggunakan tanaman rambat yang menggantung atau merambat sepanjang dinding bangunan. Tanaman dapat merambat ke atas seperti tanaman rambat pada umumnya yang ditanam pada bagian bawah dinding bangunan sehingga menjadikan sistem penghijauan ini relatif tidak mahal. *Green façades* dapat didesain dengan tanaman yang menjuntai dari atas ke bawah yang mana tanaman akan digantung pada ketinggian tertentu (Dunnett & Kingsbury, 2008a). **Gambar 1** memperlihatkan desain *green façades*.



**Gambar 1.** Desain *vertical greenery systems* dengan tipe *green façade* (Manso & Castro-Gomes, 2015)

Perawatan penting untuk diperhatikan karena *green façade* menggunakan jenis tanaman rambat yang dapat tumbuh antara 10 m – 25 m (Dunnett & Kingsbury, 2004). Tanaman yang digunakan untuk *green façades* juga harus dapat beradaptasi dengan iklim setempat. *Green façades* dengan tanaman tahunan dapat melindungi dinding bangunan sepanjang tahun. Sedangkan tanaman semusim hanya dapat melindungi dinding bangunan pada saat musim-musim tertentu dan setelahnya akan berguguran memberikan kesan dinding yang tidak terawat. Meskipun begitu teknik penghijauan dinding bangunan dengan *green façade* adalah lebih ekonomis bila dibandingkan dengan sistem penghijauan vertikal lainnya.

### **Living wall (green wall)**

*Living wall* atau *green wall* atau dinding hijau merupakan jenis *vertical greenery system* yang tersusun dari panel-panel modular yang berisikan tanah atau media tanam lainnya seperti busa, *perlite*, dan *wool*. **Gambar 2** menunjukkan desain *living wall*. Panel-panel modular dari *living wall* membutuhkan sistem pengairan hidroponik untuk memberikan nutrisi pada tanaman (Dunnett & Kingsbury, 2004). *Living walls* memungkinkan penghijauan secara vertikal dan dapat menutup permukaan dinding yang luas dengan sempurna. Jenis tanaman yang digunakan adalah tanaman semak-semak kecil yang secara umum tidak akan tumbuh vertikal. Desain *living walls* juga memungkinkan untuk menggabungkan berbagai macam jenis tanaman sehingga memberikan desain yang unik.

Sebagian besar *living walls* membutuhkan perawatan yang lebih *complex* bila dibandingkan dengan *green façades*. Ada banyak parameter yang harus diperhatikan karena strukturnya yang terdiri dari banyak lapisan dan membutuhkan sistem pengairan yang khusus. Oleh karenanya, *living walls* seringkali lebih mahal dan lebih membutuhkan banyak energi untuk operasionalnya (Lee & Jim, 2017; Ottelé et al., 2011).



**Gambar 2.** Desain *vertical greenery system* dengan tipe *green wall* (Living Wall Systems, n.d.)

**Tabel 1.** Review studi terdahulu terkait dengan parameter utama pendukung kinerja *vertical greenery systems*

Pustaka	Tipe	Klasifikasi iklim Köppen	Jenis tanaman	Ketebalan lapisan daun [cm]/ luas area dedaunan [%]	Penurunan suhu permukaan dinding		Temuan lainnya
					Exterior [°C]	Interior [°C]	
(Köhler, 2008)	GF; Tr	Cfb	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	- / -	3 (musim panas) 3 (musim dingin)	-	-
(Hoyano, 1988)	GF; Tr; DS	Cfa	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	- / 55 %	1-3	-	-
(H. F. Di & D. N. Wang, 1999)	Sm; GF; Tr	Dwa	<i>Hereda sp.</i>	10 cm/ -	16	-	Penurunan 28% beban pendinginan pada hari di puncak musim panas
(Stec et al., 2005)	Sm; GF; DS	-	-	- / -	-	-	Double skin green façade menghasilkan hampir 20% penghematan untuk pendinginan
(Schmidt M, 2006)	GF; DS	Cfb	<i>Wisteria sp.</i>	- / -	-	-	Evaporasi 5.4-11.3 mm/hari mampu menghasilkan pendinginan 157 kWh/hari
(Eumorfopoulou & Kontoleon, 2009)	GF; Tr	Cfb	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	25 cm / -	5.7	0.9	-
(Hien et al., 2009)	Sm; GW	Af	<i>Nephrolepis exaltat/Urechites lutea/Ophiopogon japonicus/Tradescantiaspathacea</i>	- / -	-	-	10 % - 31 % penghematan energi untuk pendinginan
(Wong et al., 2010)	GF; DS; GW	Af	-	- / -	1.0 – 10.94 (siang hari) 2.0 – 9.0 (malam hari)	-	-
(Kontoleon & Eumorfopoulou, 2010)	Sm; GF; Tr	Cfb	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	- / -	1.73 (dinding utara) 10.53 (dinding timur) 6.46 (dinding selatan) 16.85 (dinding barat)	0.65 (dinding utara) 2.04 (dinding timur) 1.06 (dinding selatan) 3.27 (dinding barat)	Penurunan beban pendinginan 4.65% (dinding utara), 18.17% (dinding timur), 7.60% (dinding selatan), 20.08% (dinding barat)

(Cheng et al., 2010)	GW	Cwa	<i>Zoysia japonica</i>	- / 64%	16	30	-
(Sternberg et al., 2011)	GF; Tr	Cfb	<i>Hereda helix</i>	10 cm – 45 cm / -	1.7 – 9.5	-	-
(Ip et al., 2010)	GF; DS	Cfb	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	- / -	-	-	Rata-rata penurunan transfer radiasi matahari 0.45; 0.31; 0.27; 0.22; dan 0.12
(Pérez et al., 2011b)	GF; DS	Csa	<i>Wisteria sinensis</i>	20 cm / -	15.18	-	-
(Pérez et al., 2011a)	GF; DS	Csa	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> , <i>Lonicera japonica</i> , <i>Clematis sp.</i> , <i>Hereda helix</i>	- / -	-	-	Rata-rata koefisien transfer iluminasi: 0.15 ( <i>Parthenocissus</i> ), 0.18 ( <i>Lonicera</i> ), 0.41 ( <i>Clematis</i> ), 0.20 ( <i>Hereda</i> )
(Perini et al., 2011)	GF; Tr; DS; GW	Cfb	<i>Hereda helix</i> , <i>Vitis</i> , <i>Clematis</i> , <i>Jasminum</i> , <i>Pyracantha</i>	10 cm / -	5	-	Penurunan kecepatan angin pada lapisan udara disekitar bangunan sebesar 0.46 m/s
(Jim & He, 2011)	Sm; GW	Cwa	<i>euphorbia x lomi salmon</i>	- / -	8.83	-	-
(Šuklje et al., 2013)	GF; DS	Cfa/Cfb	<i>Phaseolus vulgaris</i> "Anellino verde"	- / -	4	-	-
(Susorova et al., 2013)	Sm; GF; Tr	Dfa	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	- / -	0.7 – 13.1	-	-
(Mazzali et al., 2013)	GW	Cfa	Tanaman semak, jenis herbaceous dan beberapa tanaman rambat	- / -	12 (siang hari) 3 (malam hari)	-	-
(Chen et al., 2013)	GW	Cfa	<i>Enam spesies tanaman yang berbeda</i>	- / -	2.8	2.5	Penurunan suhu udara disekitar bangunan sebesar 9.7°C (siang hari), 16°C (malam hari), dan kenaikan keelembaban udara sebesar 0.3%
(Koyama et al., 2013)	GF; DS	Cfa	<i>Pare</i> , <i>morning glory</i> , <i>kacang-kacangan</i> , <i>kudzu</i> , <i>apios</i>	- / 54%, 52%, 29%, 52%, 15%	4.1 ( <i>pare</i> ); 11.3 ( <i>morning glory</i> ); 7.9 ( <i>kacang-kacangan</i> ); 6.6 ( <i>kudzu</i> ); 3.7 ( <i>apios</i> )	-	-

Keterangan: DS: Double skin; GF: Green façade; GW: Green wall; Sm: Simulasi; Tr: Tradisional

### Parameter pendukung kinerja vertical greenery systems

Terdapat tiga isu utama yang harus diperhatikan terkait dengan kontribusi *vertical greenery systems* di dalam mendukung upaya penghematan energi pada bangunan. Pertama terkait dengan aspek struktur. Kedua adalah pengaruh iklim setempat yang tidak hanya mempengaruhi performa termal bangunan akan tetapi juga terhadap pemilihan jenis tanaman. Ketiga adalah jenis dan kondisi biologis dari tanaman. **Tabel 1** menyajikan hasil *review* studi terdahulu terkait dengan parameter utama pendukung kinerja *vertical greenery systems*.

### Pengaruh sistem struktur

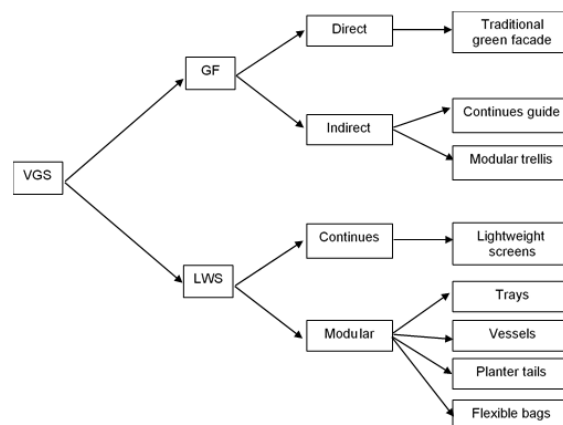
Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Wong et al., 2010), *vertical greenery systems* mencakup berbagai macam teknik untuk menempatkan tanaman pada dinding atau *façade* bangunan. Secara tradisional, *vertical greenery systems* menggunakan tanaman rambat yang menempel secara langsung pada dinding. Sedangkan sistem yang lebih *modern* menggunakan struktur pendukung untuk mencegah tanaman menempel secara langsung pada dinding bangunan dan sekaligus menghindari permasalahan seperti pelapukan dinding karena akar tanaman.

Tidak seperti sistem penghijauan lainnya pada bangunan contohnya seperti *green roofs*, di dalam kasusnya *vertical greenery systems* tidak terdapat *standard* yang dibakukan di dalam menentukan desain dan variasinya. Sehingga setiap peneliti dan ahli bangunan akan menghasilkan desain *vertical greenery systems* yang berbeda yang tentunya akan memberikan performa termal bangunan yang berbeda pula. Hal ini menjadikan penting untuk membandingkan setiap tipe struktur dari *vertical greenery systems* dalam kaitannya dengan pengaruh termal yang dihasilkan.

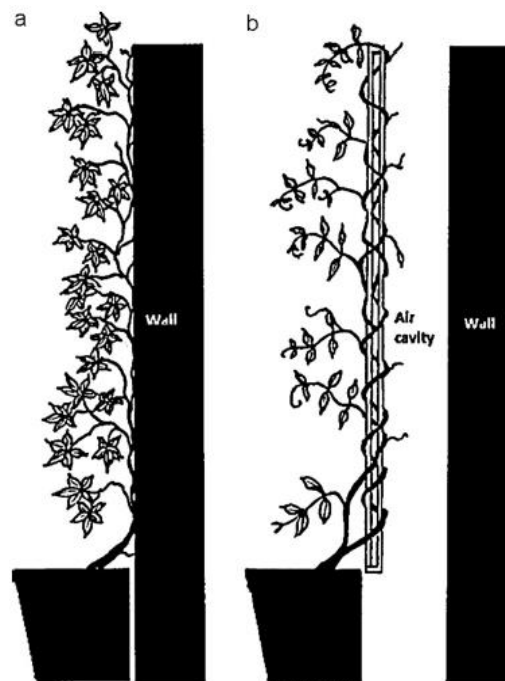
**Tabel 2** menyajikan klasifikasi dari *vertical greenery systems* kedalam dua kategori utama berdasarkan pada biaya dan perawatannya yaitu *extensive* dan *intensive* (Pérez et al., 2011b).

**Tabel 2.** Klasifikasi dari *vertical greenery systems* berdasarkan sistem struktur (Pérez et al., 2011b)

Klasifikasi	Extensive	Intensive	
Green façades	Tradisional	-	-
	Double skin	Trellis	-
		Wired	-
Living walls (green walls)		Mesh	Pot tanam
			Panels
			Geotextile



**Gambar 3.** Klasifikasi *vertical greenery systems* menurut (Manso & Castro-gomes, 2015)



**Gambar 4.** Ilustrasi struktur pada *green façade* (a). *Direct green façade* (b). *Indirect green façade* (Hunter et al., 2014)

Lebih lanjut, klasifikasi serupa juga dilakukan (Manso & Castro-gomes, 2015) yang mana secara umum *vertical greenery systems* kedalam dua kategori utama yaitu *green façades* dan *living walls* (**Gambar 4**). Berdasarkan sistem strukturnya, *green façades* dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *direct green façade* dan *indirect green façade* (Pérez et al., 2011b). *Direct green façade* dapat juga disebut sebagai tradisional *green façade* yaitu tanaman rambat akan menempel secara langsung pada dinding bangunan. Dalam hal ini tidak digunakan struktur tambahan untuk mendukung tegaknya tanaman. Sedangkan *indirect green façade*

membutuhkan struktur pendukung yang digunakan untuk membantu tanaman supaya tetap tegak sekaligus menghindarkan tanaman agar tidak menempel secara langsung pada dinding bangunan. *Indirect green façade* menciptakan sebuah tirai tanaman (*green curtain*) yang terpisah dari dinding sehingga seringkali disebut juga sebagai *double-skin green façade*. Pada sistem ini, teknik pengairan khusus dibutuhkan untuk memberikan nutrisi yang cukup pada tanaman.

Pada *indirect green façades*, struktur yang digunakan adalah *modular trellis*, *wire*, dan *mesh structures* (Pérez et al., 2011b). *Modular trellises* adalah modul-modul ringan yang dapat di pasang pada dinding bangunan atau berdiri sendiri sebagai struktur utama untuk mendukung tanaman rambat. *Wire structures* dapat menggunakan sistem kabel baja untuk menciptakan sebuah struktur ringan yang mendukung tanaman rambat. Sedangkan *mesh structures* merupakan struktur yang sangat ringan, dapat ditempatkan secara langsung pada dinding maupun pada struktur bangunan.

Sedangkan sistem struktur dari *living walls* (*green walls*) membagi tipe ini menjadi sistem *continue* dan *modular*. Panel-panel tanaman pra-budidaya yang dipasang pada dinding bangunan dengan bantuan struktur pendukung. Panel dan *geotextile felts* tersebut umumnya berisikan jenis tanaman semak kecil, pakis, dan tanaman bunga lainnya. *Living walls* dengan sistem *continue* menggunakan material *lightweight screen*. Kemudian pada sistem *modular* menggunakan *geotextile felts*, *tray*, *vessel*, *planter tails*, dan *flexible bags*.

Klasifikasi *vertical greenery systems* yang dilakukan (Manso & Castro-gomes, 2015; Pérez et al., 2011b) telah menggabungkan dan melengkapi informasi sebelumnya yang dilakukan oleh peneliti terdahulu seperti yang dapat ditemukan di dalam Panduan Penghijauan Bangunan dari CIRIA (Building greener, 2007; Dunnett & Kingsbury, 2008b; Kontoleon & Eumorfopoulou, 2010; Ottelé, 2011).

### Pengaruh iklim

Pengaruh iklim setempat juga menjadi salah satu kajian terhadap pengaruh termal yang dihasilkan oleh *vertical greenery systems*. Dalam hal ini, pengaruh iklim setempat terhadap pertumbuhan tanaman seperti kerapatan daun dan tinggi tanaman. Iklim juga mempengaruhi aktivitas biologis tanaman seperti transpirasi dan posisi dari dedaunan yang mana semua itu berdampak pada performa termal bangunan.

Seringkali di dalam penelitian *vertical greenery systems*, peneliti tidak menyebutkan klasifikasi secara detail iklim dimana penelitian dilakukan. Menjadikannya sulit untuk melakukan perbandingan pengaruh iklim setempat terhadap kinerja *vertical greenery systems*. Karena hal tersebutlah, di dalam *critical review* ini digunakan Sistem Klasifikasi Iklim

berdasarkan Köppen (Kottek et al., 2006) yang telah digunakan secara luas untuk mengklasifikasikan iklim dunia.

Köppen membagi iklim dunia menjadi lima klasifikasi utama yang di notasikan dengan huruf kapital yaitu: (A) equator/tropis, (B) gurun, (C) sedang hangat, (D) salju, dan (E) kutup. Sedangkan untuk sub-kategorinya adalah berdasarkan suhu dan curah hujan (Kottek et al., 2006). Klasifikasi iklim pada *critical review* ini dikelompokkan berdasarkan tipe dari *vertical greenery systems* yaitu tradisional *green façades*, *double-skin green façades*, dan *green walls*.

Berdasarkan hasil klasifikasi iklim pada **Tabel 1** diketahui bahwa sebagian besar penelitian dilakukan pada belahan bumi utara dan selatan. Sedangkan pada wilayah selatan dan barat hanya terdapat sedikit studi terkait *vertical greenery systems*. Sebagian besar studi terkonsentrasi di Eropa dan Asia. Tidak banyak studi dilakukan di Amerika, Afrika, dan Australia. Studi terkait *green façades* umumnya dilakukan di Eropa dan studi terkait *green walls* banyak ditemukan di Asia. Lebih lanjut, terkait dengan tujuan utama *vertical greenery systems* dalam mengurangi radiasi matahari, diketahui sedikit studi telah dilakukan pada belahan bumi yang memiliki radiasi matahari yang tinggi dimana keberadaan *vertical greenery system* akan lebih efektif.

### Pengaruh jenis tanaman

Isu lain terkait dengan kinerja *vertical greenery systems* adalah jenis tanaman. Seperti diketahui setiap tipe *vertical greenery systems* menggunakan jenis tanaman yang berbeda. Pada *green façades* jenis tanaman yang digunakan adalah tanaman rambat dan pada *green walls* jenis tanaman yang digunakan adalah jenis semak-semak kecil dan rerumputan. Jenis tanaman semusim maupun *evergreen* dapat digunakan untuk *green façades*. Sedangkan untuk *green walls* umumnya lebih cenderung menggunakan jenis *evergreen*. Diketahui bahwa jenis tanaman berkaitan dengan performa termal *vertical greenery systems*. Dimana tanaman *evergreen* dapat memberikan dampak pendinginan dan menghangatkan bangunan. Sedangkan tanaman semusim hanya memberikan pengaruh pendinginan karena ketika daun-daunnya berguguran sinar matahari akan mengenai dinding bangunan secara langsung.

Lebih lanjut, ketika *vertical greenery systems* menggunakan tanaman semusim, pengaruh radiasi matahari pada bangunan selama masa transisi pergantian musim (dari musim semi ke musim gugur) harus diperhatikan (Pérez et al., 2011a). Hasil *review* pada **Tabel 1** menunjukkan jenis tanaman yang umumnya digunakan untuk tradisional *green façades* adalah jenis tanaman hijau sepanjang tahun yaitu *Hereda sp.* (*Hereda helix*) dan *Boston ivy* (*Parthenocissus*

*tricuspidate*). Pada *double skin green façades*, selain jenis *Hereda helix* dan *Boston ivy* (*Parthenocissus tricuspidate*), terdapat juga spesies lain seperti *Wisteria* (*Wisteria sp.*) atau *Clematis* (*Clematis sp.*) yang juga merupakan jenis tanaman hijau sepanjang tahun. Beberapa studi *double skin green façades* juga menggunakan jenis tanaman pertanian seperti labu atau gambas atau oyong (*Luffa sp.*), kacang-kacangan (*Phaseolus vulgaris*), pare, dan *morning glory*.

Sedangkan di dalam studi *green walls*, berbagai macam jenis tanaman semak kecil digunakan. Menjadikan varietas tanaman yang digunakan sangat luas. Lebih lanjut, sebagian besar studi *green walls* juga tidak menyebutkan secara spesifik jenis tanaman yang digunakan. Sehingga sulit untuk melakukan identifikasi. Lebih lanjut, hasil *critical review* juga menunjukkan bahwa ketebalan lapisan dedaunan dan luas area dedaunan memiliki kontribusi langsung di dalam penurunan suhu bangunan. Semakin tebal dan luas lapisan dedaunan, maka akan semakin besar angka penurunan suhu bangunannya.

#### **Vertical greenery systems di dalam mendukung penghematan energi pada bangunan**

Terdapat empat efek utama yang dihasilkan oleh *vertical greenery systems* yaitu efek pembayangan, efek pendinginan, efek insulasi, dan efek penahan angin (Pérez et al., 2011b). **Tabel 3** menampilkan hasil review penelitian-penelitian terdahulu terkait dengan *vertical greenery systems* dan efek yang dihasilkan.

Efek pembayangan dapat dikatakan sebagai dampak yang paling signifikan dari aplikasi *vertical greenery systems* di dalam penghematan energi. Hampir sebagian besar analisa studi terdahulu mendiskusikan efek pembayangan yang dihasilkan oleh tanaman dimana mampu menyerap radiasi matahari pada permukaan bangunan.

Efek pendinginan dihasilkan dari proses penguapan (evaporasi) oleh tanaman dan *substrate* media tanam. Namun menariknya, sebagian besar studi terdahulu justru tidak memperhitungkan efek pendinginan yang dihasilkan oleh evaporasi. Diskusi menyebutkan bahwa penurunan suhu pada permukaan dinding bangunan adalah hasil dari pembayangan tanaman tanpa adanya pembahasan terpisah antara pembayangan dan evaporasi.

Lebih lanjut terkait dengan efek pendingin, pada *green façades*, tranpirasi oleh tanaman merupakan factor utama. Hal ini berhubungan dengan jenis tanaman, kuantitas irigasi dimana semakin tinggi kuantitas irigasi maka akan semakin tinggi rasio transpirasinya, dan tentunya orientasi bangunan. Sedangkan untuk *green walls*, keberadaan *substrate* harus dipertimbangkan bersama dengan tranpirasi dari tanaman di dalam analisa efek pendinginan.

**Tabel 3.** Efek yang dihasilkan oleh *vertical greenery systems*

<b>Pustaka</b>	<b>Pemba yangan</b>	<b>Pendingi nan</b>	<b>Insula si</b>	<b>Penahan angin</b>
(Köhler, 2008)	X	X	X	
(Hoyano, 1988)	X			
(H. F. Di & D. N. Wang, 1999)	X	X		
(Stec et al., 2005)			X	
(Schmidt M, 2006)			X	
(Eumorfopoulou & Kontoleon, 2009)	X			
(Hien et al., 2009)	X			
(Wong et al., 2010)	X			
(Kontoleon & Eumorfopoulou, 2010)	X	X		
(Cheng et al., 2010)	X		X	
(Sternberg et al., 2011)			X	
(Ip et al., 2010)	X			
(Pérez et al., 2011b)	X		X	
(Pérez et al., 2011a)	X		X	
(Perini et al., 2011)				X
(Jim & He, 2011)	X			
(Šuklje et al., 2013)	X	X		
(Susorova et al., 2013)	X			X
(Mazzali et al., 2013)	X	X		
(Chen et al., 2013)	X	X		
(Koyama et al., 2013)	X	X		

Efek insulasi terkait dengan kapasitas insulasi lapisan dan juga komposisi dari lapisan *vertical greenery systems* seperti ketebalan dan jenis *substrate*

serta lapisan udara disekitarnya. Hasil dari *literature review* menemukan efek insulasi terkait dengan lapisan udara terdapat pada *green façades*. Disisi lain masih belum terdapat pembahasan mendalam mengenai pengaruh *substrate* dalam kaitannya dengan efek insulasi pada *green walls*.

Terakhir, efek penahan angin merujuk pada kemampuan *vertical greenery systems*, yang mana dalam hal ini meliputi tanaman dan sistem struktur, dalam membatasi pengaruh angin yang berhembus secara langsung pada dinding fasade bangunan. Secara tidak langsung, efek penahan angin juga berkaitan dengan kapasitas insulasi dari *vertical greenery systems*. Diketahui tidak banyak studi yang membahas secara mendalam mengenai efek penahan angin dari *vertical greenery systems*.

## KESIMPULAN

Studi ini merangkum dan mereview penelitian-penelitian terdahulu terkait *vertical greenery systems* sebagai alternatif desain di dalam menciptakan penghematan energi pada bangunan. Dari *critical review* ini dapat disimpulkan bahwa ketika mempelajari kontribusi *vertical greenery systems* di dalam menciptakan penghematan energi pada bangunan, terdapat tiga parameter utama yang harus diperhatikan yaitu:

1. Sistem struktur membagi *vertical greenery systems* kedalam jenis tradisional *green façades*, *double skin green façades*, dan *green walls*.
2. Kondisi iklim mempengaruhi operasional *vertical greenery systems*. Iklim mempengaruhi kondisi termal bangunan dan aspek-aspek spesifik dari tanaman seperti jenis tanaman yang digunakan, pertumbuhan tanaman, dan transpirasi tanaman. Hasil dari *critical review* menemukan bahwa:
  - Sebagian besar penelitian dilakukan pada belahan bumi utara dan timur, khususnya di Eropa dengan *green façades* dan Asia dengan *green walls*.
  - Kurangnya studi yang dilakukan pada wilayah belahan bumi dengan tingkat radiasi matahari yang tinggi dimana keberadaan *vertical greenery systems* akan lebih memberikan efek termal yang efektif.
  - Sistem Klasifikasi Iklim berdasarkan Köppen digunakan mengklasifikasi studi *vertical greenery systems* berdasarkan kondisi iklim setempat.
3. Jenis tanaman mempengaruhi kinerja dari *vertical greenery systems*. Informasi ini harus diperhatikan dimana:
  - Untuk *green façades* digunakan jenis tanaman rambat yang hijau sepanjang tahun dan dapat memberikan efek termal secara signifikan.

Berdasarkan kajian *literature* didapatkan bahwa jumlah spesies tanaman yang digunakan terbatas.

- Pada *green walls*, rerumputan dan tanaman semak kecil adalah yang paling umum digunakan. Secara khusus, jenis tanaman yang dipilih adalah yang dapat beradaptasi dengan baik terhadap iklim setempat dan hijau sepanjang tahun. Jenis tanaman yang digunakan untuk *green walls* lebih beragam dan pastinya memberikan efek termal yang lebih beragam.
- Ketebalan lapisan dedaunan dan luas area dedaunan memiliki kontribusi langsung di dalam penurunan suhu bangunan. Semakin tebal dan luas lapisan dedaunan, maka akan semakin besar angka penurunan suhu bangunannya.

Terkait dengan potensi *vertical greenery systems* di dalam mendukung penghematan energi pada bangunan, terdapat empat efek utama yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Efek pembayangan memberikan kontribusi di dalam mengurangi serapan radiasi matahari pada permukaan dinding. Diketahui bahwa efek pembayangan juga merupakan fokus utama dari sebagian besar studi terdahulu.
2. Efek pendinginan tercipta dari evaporasi yang dihasilkan oleh tanaman dan *substrate* (media tanam).
3. Efek insulasi terkait dengan kapasitas insulasi dari setiap lapisan pada *vertical greenery systems*, seperti lapisan udara yang terdapat di sekitar tanaman dan lapisan *substrate* atau media tanam.
4. Efek penahan angin merujuk pada kemampuan dari *vertical greenery systems* yang dalam hal ini adalah tanaman dan sistem strukturnya untuk membatasi pengaruh angin pada *façade* bangunan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Building greener. (2007). *Guidance on the use of green roofs, green walls and complementary features on buildings*.
- Chen, Q., Li, B., & Liu, X. (2013). An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and Buildings*, 61, 298–307. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.030>
- Cheng, C. Y., Cheung, K. K. S., & Chu, L. M. (2010). Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and Environment*, 45(8), 1779–1787. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.02.005>
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2004). *Planting Green Roofs and Living Walls*. Timber press.
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008a). *Planting green roofs and living walls*. Timber press Portland, OR.



- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008b). Planting Green Roofs and Living Walls. In *Journal of Environmental Quality* (Vol. 37, Issue 6). <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0016br>
- Eumorfopoulou, E. A., & Kontoleon, K. J. (2009). Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. *Building and Environment*, 44(5), 1024–1038. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.004>
- greenscreen®. (n.d.). *Engineering Nature*. Retrieved July 17, 2020, from <https://greenscreen.com/>
- H. F. Di, & D. N. Wang. (1999). Cooling effect of Ivy on a wall. *Experimental Heat Transfer*, 12(3), 235–245. <https://doi.org/10.1080/089161599269708>
- Hien, N., Yong, A., Tan, K., Yok, P., & Chung, N. (2009). *Energy simulation of vertical greenery systems*. 41, 1401–1408. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.010>
- Hoyano, A. (1988). Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. *Energy and Buildings*, 11(1–3), 181–199. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90035-7](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90035-7)
- Hunter, A. M., Williams, N. S. G., Rayner, J. P., Aye, L., Hes, D., & Livesley, S. J. (2014). Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. *Ecological Engineering*, 63, 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.021>
- Ip, K., Lam, M., & Miller, A. (2010). Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. *Building and Environment*, 45(1), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.003>
- Jim, C. Y., & He, H. (2011). Estimating heat flux transmission of vertical greenery ecosystem. *Ecological Engineering*, 37(8), 1112–1122. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.02.005>
- Köhler, M. (2008). Green facades—a view back and some visions. *Urban Ecosystems*, 11(4), 423–436. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0063-x>
- Kontoleon, K. J., & Eumorfopoulou, E. A. (2010). The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment*, 45(5), 1287–1303. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.11.013>
- Kotteck, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Koyama, T., Yoshinaga, M., Hayashi, H., Maeda, K. ichiro, & Yamauchi, A. (2013). Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. *Building and Environment*, 66, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.020>
- Lee, L. S. H., & Jim, C. Y. (2017). Subtropical summer thermal effects of wire-rope climber green walls with different air-gap depths. *Building and Environment*, 126, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.021>
- Living wall systems. (n.d.). Retrieved July 17, 2020, from [https://www.pinterest.com/pin/372250725419680988/?nic\\_v2=1a1tgJN3g](https://www.pinterest.com/pin/372250725419680988/?nic_v2=1a1tgJN3g)
- Manso, M., & Castro-gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>
- Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>
- Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, R. M., & Bastianoni, S. (2013). Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. *Building and Environment*, 64, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.005>
- Ottelé, M. (2011). *The green building envelope*.
- Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419–3429. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>
- Pérez, G., Rinc n, L., Vila, A., González, J. M., & Cabeza, L. F. (2011a). Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conversion and Management*, 52(4), 1861–1867. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.11.008>
- Pérez, G., Rinc n, L., Vila, A., González, J. M., & Cabeza, L. F. (2011b). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, 88(12), 4854–4859. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.032>
- Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 46(11), 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2013).

- Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. *Urban Ecosystems*, 16(2), 265–277.  
<https://doi.org/10.1007/s11252-012-0262-3>
- Schmidt M. (2006). *Energy and water, a decentralized approach to an integrated sustainable urban development*.
- Siew, C. C., Che-Ani, A. I., Tawil, N. M., Abdullah, N. A. G., & Mohd-Tahir, M. (2011). Classification of natural ventilation strategies in optimizing energy consumption in Malaysian office buildings. *Procedia Engineering*, 20, 363–371.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.178>
- Stec, W. J., Van Paassen, A. H. C., & Maziarz, A. (2005). Modelling the double skin façade with plants. *Energy and Buildings*, 37(5), 419–427.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.008>
- Sternberg, T., Viles, H., & Cathersides, A. (2011). Evaluating the role of ivy (*Hedera helix*) in moderating wall surface microclimates and contributing to the bioprotection of historic buildings. *Building and Environment*, 46(2), 293–297.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.017>
- Šuklje, T. Ž., Medved, S., & Arkar, C. (2013). An Experimental Study on a Microclimatic Layer of a Bionic Façade Inspired by Vertical Greenery. *Journal of Bionic Engineering*, 10(2), 177–185.  
[https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(13\)60213-9](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(13)60213-9)
- Susorova, I., Angulo, M., Bahrami, P., & Brent Stephens. (2013). A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. *Building and Environment*, 67, 1–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.027>
- Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P. Y., Chan, D., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(3), 663–672.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>
- Yeh, Y.-P. (2015). *Green Wall- The Creative Solution in Response to the Urban Heat Island Effect*. 9, 8.  
[http://www.nodai.ac.jp/cip/iss/english/9th\\_iss/fullpaper/3-1-4nchu-yupengyeh.pdf](http://www.nodai.ac.jp/cip/iss/english/9th_iss/fullpaper/3-1-4nchu-yupengyeh.pdf)