

PENERAPAN GREEN ROOF PADA BANGUNAN DI LINGKUNGAN BERIKLIM TROPIS

D.Y. Imardhini¹, L. Farahdina², L. Inriyani³, dan N. Wandijaya⁴

¹⁻⁴ Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Corresponding author: farahdinalulu21@gmail.com

ABSTRAK : Peningkatan populasi global berdampak pada naiknya kebutuhan energi dan meningkatnya temperatur udara perkotaan yang kemudian mempengaruhi peningkatan permintaan energi bangunan. Sektor bangunan memberikan kontribusi besar terhadap penggunaan energi secara global. Penggunaan *green roof* mempengaruhi kenyamanan bangunan serta mendorong terjadinya penghematan energi. Penerapan *green roof* mempertimbangkan pemeliharaan agar *green roof* dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan iklim dan desain spesifiknya. *Green roof* mempunyai pengaruh signifikan terhadap bangunan dan lingkungan sekitarnya, sehingga semakin banyak penggunaan *green roof* maka semakin besar dampak pengendalian *green roof* pada lingkungan. Elemen penting pada *green roof* adalah vegetasi yang memberikan dampak terhadap kinerja termal dan energi. Vegetasi menunjukkan perilaku berbeda seiring dengan perubahan musim dengan laju evapotranspirasi yang berbeda juga. Oleh karena itu, penelitian dilakukan dengan cara deskriptif kualitatif untuk mengetahui cara penerapan *green roof* serta pengaruh *green roof* terhadap penggunaan energi bangunan pada iklim tropis. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *green roof* berlapis dengan pengaliran air memberikan pengaruh lebih besar dibandingkan dengan *green roof* tanpa air. Keberadaan air dan elemen material pendukungnya memberikan pengaruh signifikan untuk mengurangi kalor masuk dalam bangunan.

Kata Kunci: Tropis, Iklim, *Green Roof*, Hemat Energi, Vegetasi

ABSTRACT: *The increase in global population impacts the increase of energy needs and increased urban air temperature which then affects the increase in building energy demand. The building sector contributes greatly to global energy use. The epoch of green roof affects the comfort of the building and encourages energy savings. The application of Green Roof considers maintenance to generate Green Roof can work properly according to its climate and specific design. Green Roof has a significant influence on the building and the surrounding environment, so the more use of green roofs, the larger the impact of green roof controls in the environment. Important elements on Green Roof are vegetation that has an impact on thermal and energy performance. The state of demonstrating different behavior along with the season changes with different evapotranspiration rates as well. Therefore, the research is done by descriptive qualitative to know the way of global roof implementation and the influence of green roof to the use of building energy in tropical climate. This study indicates that the use of green roof plated with water flow contains a thrill over the rid of green roof. The existence of water and its material supporting elements give a significant effect to reduce the incoming states in the building.*

Key words: *Tropic, Climate, Green Roof, Energy Saving, Vegetation*

PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, temperatur udara udara di lingkungan terbangun dan kebutuhan energi pada bangunan telah meningkat, terutama di musim panas. Sebagai konsekuensinya, jumlah gelombang panas, mortalitas dan morbiditas terkait panas meningkat. Penggunaan AC secara luas dan penggunaan energi tingkat tinggi tidak dapat dihindari untuk menyelamatkan nyawa masyarakat, terutama di daerah beriklim panas dan

sedang. Perbedaan temperatur udara antara daerah perkotaan dan pedesaan, sebuah fenomena yang dikenal sebagai pulau panas perkotaan (urban heat island/UHI), telah menjadi subjek penelitian ekstensif selama beberapa dekade terakhir (Oke, 1982, Santamouris dkk., 2014, Santamouris, 2015). Menurunnya vegetasi, meningkatnya urbanisasi, dan peningkatan tajam jumlah penduduk selama satu abad terakhir telah menyebabkan peningkatan temperatur udara perkotaan yang memperburuk fenomena tersebut, selain juga

berhubungan buruk dengan ketidaknyamanan termal dan membahayakan kesehatan manusia (Cartalis dkk., 2001) dan telah menyebabkan lebih dari 150.000 nyawa setiap tahunnya menurut organisasi Kesehatan Dunia (WHO, 2005).

Beberapa penelitian telah dilakukan di iklim tropis (Zingre et al., 2015) untuk mengevaluasi penggunaan atap sejuk dan *green roof* di lokasi dengan rata-rata penyinaran matahari tahunan yang melimpah. Berbagai kondisi batas (fluks panas atau koefisien perpindahan panas berdasarkan ketebalan dan bahan) mempengaruhi pertukaran panas dan kelembaban antara permukaan dan atmosfer. Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengamati pengaruh *green roof* terhadap perubahan temperatur udara bangunan untuk tujuan desain masa depan dan modifikasi desain saat ini pada iklim tropis.

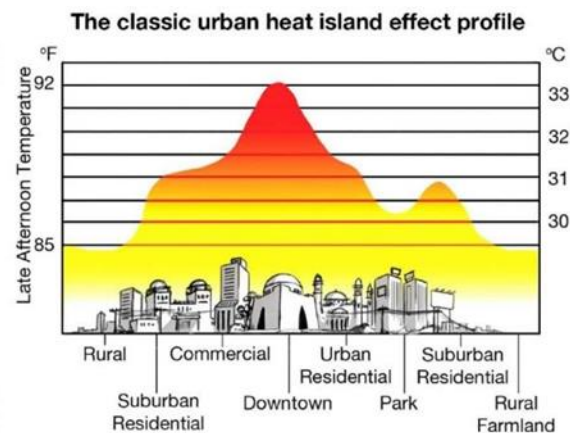
Green roof terdiri dari tanaman, media tanam, drainase, lapisan kedap air dan insulasi pada atap. Istilah ‘hijau atap’ berasal dari kata Jerman ‘Dachbegrünung’ dan secara teknis disebut atap bervegetasi, atap ekologis, atap bio, dan atap hidup (Lee dan Jim, 2020). *Green roof* mempunyai pengaruh yang signifikan dampaknya terhadap bangunan dan lingkungan sekitarnya, sehingga berdasarkan berbagai manfaatnya, semakin banyak *green roof* yang dibangun di seluruh dunia. Mempertimbangkan manfaat *green roof* tidak hanya dari segi kenyamanan dan penghematan energi tetapi juga mempertimbangkannya melalui perhitungan operasi pemeliharaan yang diperlukan agar atap hijau dapat berfungsi dengan baik selama bertahun-tahun. Konsumsi air, penggunaan pupuk, operasi penggantian selama 40 tahun, emisi terhadap udara dan air, dan desain yang tepat pada media tanam tampaknya menjadi elemen paling relevan dan kunci dari atap hijau yang baik desain.

Ada peluang besar untuk meningkatkan keberlanjutan *green roof*, terutama selama produksi dan fase pembuangan dan LCA dapat dengan mudah mendukung industri dalam menentukan solusi berdampak rendah, agar dapat meningkat jumlah bahan daur ulang yang dapat digunakan untuk media tanam dan membran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temperatur udara perkotaan mengalami peningkatan dalam satu abad terakhir. Hal ini disebabkan karena menurunnya vegetasi, meningkatnya urbanisasi, dan peningkatan tajam penduduk sehingga terjadilah fenomena *Urban Heat Island* (UHI) (Cartalis dkk., 2001). Menurut tinjauan artikel yang diterbitkan antara tahun 2000 dan 2020, pengurangan beban pendinginan mencapai maksimum (rata-rata 50,2%) di zona iklim sedang untuk *Green Roof* dengan irigasi yang baik. Efektivitas penghematan beban pendinginan berkurang di zona iklim panas-lembab dan panas-kering masing-masing sebesar 10% dan 14,8%. Radiasi matahari yang

mengenai atap dapat dengan mudah meningkatkan temperatur permukaan luar hingga 50 – 60 °C. Penghijauan lingkungan perkotaan memainkan peran penting dalam mengurangi dampak buruk urbanisasi, seperti polusi udara dan efek panas perkotaan, dan dapat memberikan banyak manfaat bagi penduduk. Maka dari itu, untuk mendukung penghijauan di perkotaan maka teknologi yang sering digunakan yaitu teknologi *Green Roof*.



Gambar 1. Perbandingan temperatur udara daerah perkotaan dan non-perkotaan (Sumber : sedumsupply.co.uk)

Green Roof secara umum digunakan untuk insulasi bangunan, karena bahan ini meningkatkan perpindahan panas melalui atap dan memberikan temperatur udara luarnya yang lebih stabil pada musim dingin maupun panas yang terik. Pemasangan *Green Roof* memiliki banyak manfaat, yaitu berkontribusi dalam penghematan energi di dalam bangunan dengan mengurangi penyerapan radiasi matahari dan evapotranspirasi tanaman dan isolasi bangunan, mengurangi nilai *Urban Heat Island* (UHI) dan meningkatkan iklim mikro, meningkatkan kualitas udara, mengurangi polusi udara dan emisi gas rumah kaca karena tanaman menghilangkan polutan udara melalui penyerapan karbon. Selain itu, penggunaan *green roof* juga dapat memberikan nilai estetika pada bangunan dan meningkatkan keanekaragaman hayati di daerah perkotaan.

Panas yang masuk ke *Green Roof* dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, yaitu indeks luas daun dan intensitas vegetasi, tingkat irigasi, dan komposisi serta ketebalan tanah (Yang dkk., 2018). Vegetasi dapat menambah panas akibat transpirasi evaporasi dan memerlukan pemeliharaan yang tinggi. *Green Roof* beririgasi mempunyai potensi mitigasi yang lebih tinggi dibandingkan *Green Roof* tanpa irigasi karena air dapat menahan panas dan menunda transmisi panas ke dalam.

Pada musim dingin di daerah beriklim sedang, isolasi termal lapisan tanah dapat digantikan oleh naungan

tanaman dan evapotranspirasi. Misalnya, lapisan tanah dengan ketebalan 40 mm dapat memberikan isolasi termal yang ideal di iklim panas-lembab. Tidak ada manfaat tambahan yang didapat karena lapisan tanah menjadi lebih tebal. Irigasi sangat penting dalam mengurangi penggunaan energi di iklim panas-kering. Namun, *Green Roof* yang tidak diairi di iklim kering akan berdampak kecil terhadap permintaan energi bangunan. Demikian pula, irigasi mempunyai pengaruh yang kecil terhadap *Green Roof* di iklim hujan. Selain itu, tinjauan tersebut menunjukkan pentingnya LAI dalam mengurangi permintaan energi bangunan di semua iklim tertentu. Namun, efeknya lebih rendah pada hari berawan.

Green Roof telah banyak diusulkan untuk menjadi solusi bagi daerah perkotaan dan dipadukan dengan remediasi serta mitigasi yang mengarah kepada konsep berkelanjutan. *Green roof* perlu memperhatikan beberapa aspek desain seperti material, komponen struktur, dll. Dalam prakteknya, *Green Roof* masih dilakukan pengembangan lebih lanjut dalam atribut ekologi. Hal ini berkaitan dengan analisis deskriptif terkait tanaman yang memungkinkan untuk dimasukkan dalam pengaplikasian *Green Roof* pada daerah dengan iklim tropis.

Penelitian mengenai *Green Roof* kebanyakan didominasi oleh negara-negara beriklim sedang yang terkadang mengabaikan penanganan khusus untuk daerah dengan iklim tropis. *International Institute of Tropical Forestry in Río Piedras, Puerto Rico* melakukan evaluasi dinamika vegetasi dengan menggabungkan aspek-aspek penting dalam infrastrukturnya. Berbagai macam pendekatan dilakukan untuk mengetahui kemungkinan-kemungkinan pada infrastruktur *Green Roof* serta mengetahui vegetasi baru yang cocok untuk pengelolaan *Green Roof* yang lebih baik pada lingkungan beriklim tropis.

Vegetasi adalah elemen struktural penting lainnya yang mempunyai dampak signifikan terhadap kinerja termal dan energi *green roof* (La Roche, 2014; Refahi, 2015). Vegetasi pada *Green Roof* menggunakan media tumbuh berupa tanah yang berada di atas membrankedap air. Terdapat dua tipe *Green Roof*, yaitu tipe intensif dan ekstensif. *Intensive Green Roof* (IGR) memiliki lapisan substrat yang lebih tebal, lebih dari 15 cm, dan terdiri dari kombinasi antara *herbs*, sukulen, lumut-lumutan, semak, dan pohon. Jenis vegetasi pada *Intensive Green Roof* berukuran lebih besar dan memiliki nilai hias serta unsur ornamental yang baik namun memerlukan biaya perawatan dan pengairan yang lebih mahal. *Intensive Green Roof* dapat dipasang pada atap datar yang sudah dirancang secara khusus. Sedangkan *Extensive Green Roof* (EGR) memiliki lapisan substrat diantara 2 - 15 cm dan terdiri dari jenis vegetasi seperti *herbs*, beberapa jenis sukulen, dan

lumut-lumutan (Karteris dkk., 2016). Vegetasi pada *Extensive Green Roof* berukuran lebih kecil dan memiliki biaya perawatannya yang rendah serta tidak membutuhkan pengairan yang berkala untuk bertahan hidup (Czemiel Berndtsson, 2010; Heusinger dan Weber, 2017; Nagase, 2020).



Gambar 2. Beberapa spesies sampel yang paling umum digunakan pada *Green Roof*. Kiri-kanan, (bag. atas): *Bidens alba*, *Nephrolepis multiflora*, *Momordica charantia*, *Portulaca*. (bag. bawah): *Tulbaghia violacea*, *Asclepias curassavica*, *Arachis hypogaea*, *Portulaca pilosa* (Sumber: sciencedirectassets.com)

Tumbuhan menunjukkan perilaku yang berbeda seiring dengan perubahan musim, dan laju evapotranspirasi juga berbeda. Selama musim panas, nilai transpirasi yang lebih tinggi sering kali tercatat dibandingkan selama musim dingin. Kinerja energi *green roof* dapat dimaksimalkan jika ditanam dipilih sehubungan dengan laju evapotranspirasi, iklim latar belakang, dan persyaratan bangunan. Temuan menunjukkan bahwa pemasangan *green roof* menghasilkan pengurangan pemanasan sebesar 11% dan pengurangan pendinginan sebesar 19% berdasarkan jenisnya tanaman. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa dedaunan tanaman mempengaruhi laju evapotranspirasi dan radiasi matahari yang mencapainya.

Pemilihan vegetasi pada *Green Roof* secara tak langsung berfungsi untuk menurunkan temperatur udara pada bangunan. Pendinginan bangunan gedung melalui penggunaan '*Green Roof*' bergantung pada performa tanaman serta diferensiasi tanaman yang digunakan. Investigasi sistem pendinginan atap dilakukan melalui 3 spesies tanaman yang berbeda. Yaitu C3 (*Poa pratensis* and *Festuca arundinacea*), C4 (*Cynodon dactylon* and *Eremochloa ophiuroides*), and CAM plant species (*Sedum lineare* and *Callisia repens*). Hasilnya menunjukkan bahwa dari diferensiasi spesies tanaman menghasilkan performa strategis yang berbeda. Hal ini bergantung pada bagian tubuh tanaman yang kemudian berdampak pada proses transpirasinya. Pada hasil investigasi, diketahui bahwa semua tanaman menghasilkan sistem pendinginan yang signifikan pada tanah. Pendinginan *Green Roof* menggunakan tanaman C3 dan C4 mengandalkan dari laju transpirasi. Tanaman

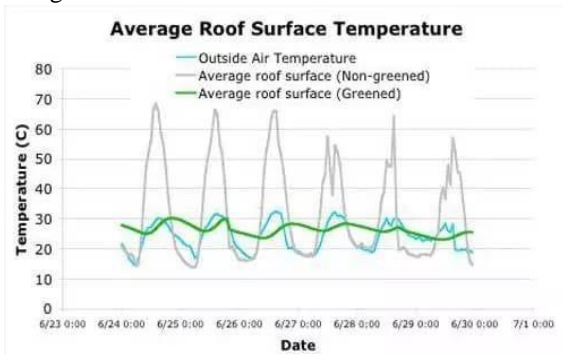
C4 memiliki laju transpirasi yang mampu melakukan pendinginan lebih optimal dibanding tanaman C3. Sementara CAM Plants memiliki performa sistem pendinginan yang paling rendah karena penutupan stomata dan transpirasi yang lebih rendah selama siang hari. Namun sistem pendinginan pada malam hari naik secara signifikan hanya pada CAM Plants sehingga mampu berkontribusi dari energi fiksasi pada malam hari. Hasil jurnal menunjukkan bahwa *Green Roof* dengan spesies tanaman berbeda dapat memberikan manfaat ekologis dan lingkungan yang berbeda-beda.

Tabel 1 Tipe Green roof dan aspek teknis dengansumber literturnya

ASPEK	INTENSIVE GREEN ROOF	EXTENSIVE GREEN ROOF	SUMBER
Diversitas	Tanaman dengan tingkat diversitas yang tinggi	Tanaman dengan tingkat diversitas yang rendah	Bates, 2013; MacIvor, 2013; Ecol Eng, 2008; Berardi, 2014
Berat	>300 kg/m ²	Berat ringan (60-150 kg/m ²)	Bates, 2013; MacIvor, 2013; Ecol Eng, 2008; Berardi, 2014 ;Dinsdale, 2006
Biaya	Tinggi	Rendah	36-39 Dinsdale, 2006, Peri, 2012, Ascione 2013, Castelon, 2010
Tebal dari media tanam	>200mm	<200mm	Berardi, 2014
Konstruksi	Secara Teknikal Rumit	Relatif Sederhana	Berardi, 2014
Pemeliharaan	Rumit	Sederhana	Schweitzer, 2014, Blank 2013
Aksesibilitas	Dapat di akses	Tidak bisa di akses (karena akar tanaman yang pendek)	MacIvor, 2013; ;Dinsdale, 2006
Irigasi	Sistem Drainase dan irigasi dibutuhkan	Sistem Drainase dan irigasi terkadang dibutuhkan	Bates, 2013; MacIvor, 2013; Dinsdale, 2006; Wolf, 2008; Nagase, 2010
Kegunaan	Digunakan pada bangunan pencakar langit serta dapat dimanfaatkan sebagai sarana rekreasi.	Digunakan pada bangunan rumah	Menteng, 2012

(Sumber : unnm.ac.id)

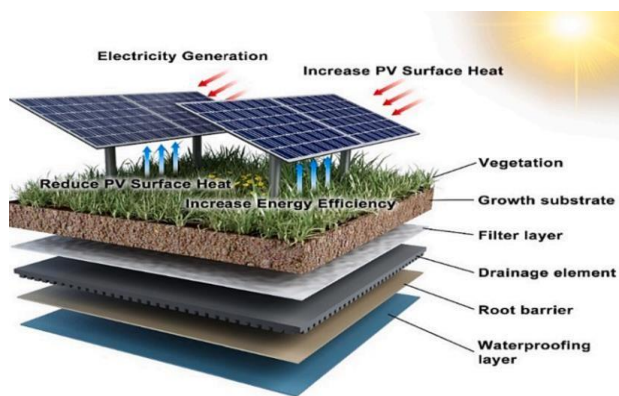
Penggunaan *Green Roof* efektif menurunkan temperatur dibandingkan penggunaan atap konvensional. Hal ini membantu menyesuaikan temperatur udara di luar dan di dalam bangunan sehingga tidak terlalu berbeda. Kondisi ini mampu memberikan kenyamanan thermal bagi penghuni di dalamnya dan mengurangi penggunaan energi.



Gambar 3. Temperatur rata-rata atap (Sumber : nationalpark service)

Selain manfaat ekologis dan sosial, membangun penghijauan terpadu juga berpotensi meningkatkan efisiensi BIPV dengan memberikan efek pendinginan pada iklim mikro. BIPV mampu menggantikan bahan bangunan konvensional dengan bahan *photovoltaic* pada bagian selubung bangunan seperti pada bagian atap, skylight, atau fasad. Desain berkelanjutan merupakan pertimbangan penting sepanjang siklus hidup sebuah bangunan. Namun, sekitar 80% konsumsinya ditentukan pada tahap desain. Berikut prinsip untuk desain yang mengintegrasikan BIPV dan penghijauan (W. Wang et al,2023) :

1. Untuk menjamin kelangsungan hidup tanaman dalam bangunan, disarankan untuk memilih varietas tanaman yang sesuai dengan iklim dan kondisi tanah setempat.
2. Sistem penghijauan BIPV yang terintegrasi mempunyai beban tertentu pada fasad dan atap, yang akan dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti angin, terutama pada bangunan bertingkat. Maka harus mempertimbangkan pengaruh berbagai faktor, seperti gravitasi modul PV, beban angin, dan efek seismik.
3. Mempertimbangkan jarak antara panel PV dan pembangkit listrik agar tidak menghalangi ventilasi, mempengaruhi temperatur permukaan tanaman dan proses penguapan.
4. Dalam desain sistem penghijauan BIPV, pemanfaatan air hujan atau irigasi harus diprioritaskan untuk menghemat sumber daya air.
5. Selain menghasilkan listrik, fasad BIPV memiliki fungsi tambahan yang signifikan, yaitumeningkatkan kenyamanan termal bangunan dansebagai peneduh.
6. Taman atap dapat menarik berbagai serangga dan burung, yang dapat menyebabkan peningkatan akumulasi kotoran burung pada komponennya. Jika kotoran ini tidak segera dibersihkan, bayangan lokal dapat terjadi, sehingga mengurangi keluaran energi.
7. Taman atap dapat menarik berbagai serangga dan burung, yang dapat menyebabkan peningkatan akumulasi kotoran burung pada komponennya.



Gambar 4 Prinsip kerja *BIPV-Green Roof* (Source: sciencedirectassets.com).

Green Roof tidak selalu bermanfaat untuk mengurangi kebutuhan energi bangunan. Berikut penerapan *Green Roof* yang bergantung pada insulasi dari iklim yang berbeda :

1. Di iklim hangat seperti Aw, BSk, Cwb, dan Csa penerapannya pada atap yang tidak berinsulasi menyebabkan penurunan permintaan energi pemanas berkisar antara 20 hingga 60%.
2. Di iklim gurun (yaitu BWh dan BWk), pemasangan *Green Roof* bisa jadi tidak berpengaruh atau bahkan merugikan.
3. *Green Roof* yang dipasang pada atap yang tidak berinsulasi secara efisien mengurangi kebutuhan energi pendinginan di seluruh wilayah iklim yang diselidiki sebesar 10–75%.

Green Roof berinsulasi menurunkan permintaan energi pemanas dan pendingin paling banyak 30% di seluruh wilayah iklim yang diteliti, kecuali BSh dan Dfa, yang penerapannya tidak berpengaruh terhadap permintaan energi pemanas.

Dalam penerapannya *Green Roof* mampu memberikan keuntungan dalam berbagai aspek baik secara langsung maupun tak langsung. Tak hanya memberikan manfaat bagi pendinginan bangunan, *green Roof* berperan besar juga terhadap lingkungan dan ekosistem terutama di daerah perkotaan. Beberapa manfaat dari penerapan *Green Roof* pada bangunan dikategorikan sebagai berikut (Pinto dkk, 2018; Mihalakakou, 2015):

1. Manfaat energi: secara langsung dinyatakan melalui pengurangan beban pendinginan dan pemanasan sangat bergantung pada bangunan karakteristik dan proses perpindahan panas, yang utama ditentukan oleh nilai U komponen atap. Lebih-lebih lagi, jenis iklim, parameter konfigurasi sistem dan khususnya karakteristik tajuk tanaman yang dinyatakan dengan Indeks Luas Daun (LAI), yang mempengaruhi naungan, evapotranspirasi, dan laten dan fluks panas konvektif, mempunyai pengaruh yang signifikan

terhadap energi perilaku suatu system.

2. Manfaat lingkungan dan kualitas udara: berkurangnya konsumsi energi bangunan melalui evapotranspirasi dan juga karena tanaman dan tumbuh-tumbuhan menyerap sejumlah besar CO₂ melalui fotosintesis.
3. Manfaat lingkungan dan kualitas air: berkontribusi terhadap mitigasi banjir pluvial serta air limpasan peningkatan kualitas dan berkurangnya kehadiran perkotaan polutan air hujan saat tanaman dan substrat tanah menyerap dan menyaring polutan dan bertindak sebagai penyerap nitrogen nitrat dan ammonia.
4. Manfaat ekosistem: green roof dapat memberikan jasa ekosistem yang penting untuk keberlanjutan perkotaan terutama terkait dengan peningkatan keanekaragaman hayati dan pemulihan kota.
5. Manfaat sosial dan estetika: green roof dapat memberikan perlindungan kedamaian dan ketenangan di jantung lingkungan perkotaan dengan lebih sedikit kebisingan dan polusi, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan psikologis, kesehatan fisik dan kesejahteraan.

KESIMPULAN

Pengurangan beban pendinginan mencapai maksimum di zona iklim sedang menggunakan *green roof* dengan sistem irigasi yang baik. Radiasi matahari yang mengenai atap dapat dengan mudah meningkatkan temperatur permukaan luar hingga 50 – 60 °C. Maka dari itu, untuk mendukung penghijauan di perkotaan maka teknologi yang sering digunakan yaitu teknologi *Green Roof*. *Green Roof* dengan jenis tanaman berbeda dapat memberikan manfaat ekologis dan lingkungan yang berbeda-beda.

Pemilihan vegetasi pada *green roof* secara tak langsung digunakan untuk insulasi bangunan karena bahan ini meningkatkan perpindahan panas melalui atap dan memberikan temperatur udara luar lebih stabil pada musim dingin maupun panas. *Green Roof* beririgasi mempunyai potensi mitigasi lebih tinggi dibandingkan *green roof* tanpa irigasi karena air dapat menahan panas dan menunda transmisi panas ke dalam. Misalnya, lapisan tanah dengan ketebalan 40 mm dapat memberikan isolasi termal yang ideal di iklim panas-lembab. Tidak ada manfaat tambahan yang didapat karena lapisan tanah menjadi lebih tebal.

Pemilihan vegetasi pada *Green Roof* memberikan pengaruh secara tak langsung. *Green roof* dengan tanaman berbeda dapat memberikan manfaat ekologis dan lingkungan yang berbeda juga. Sistem penghijauan yang terintegrasi mempunyai beban tertentu pada fasad dan atap, yang akan dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti angin, terutama pada bangunan bertingkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Cao, J., Hu, S., Dong, Q., Liu, L., & Wang, Z. (2019). Green roof cooling contributed by plant species with different photosynthetic strategies. *Energy and Buildings*, 195, 45-50.
- Grullón-Penkova, I. F., Zimmerman, J. K., & González, G. (2020). Green roofs in the tropics: design considerations and vegetation dynamics. *Heliyon*, 6(8).
- Jamei, E., Chau, H. W., Seyedmahmoudian, M., & Stojcevski, A. (2021). Review on the cooling potential of green roofs in different climates. *Science of the Total Environment*, 791, 148407.
- Jamei, E., Chau, H. W., Seyedmahmoudian, M., Mekhilef, S. S., & Sami, F. A. (2023). Green roof and energy—role of climate and design elements in hot and temperate climates. *Heliyon*.
- Liberalesso, T., Cruz, C. O., Silva, C. M., & Manso, M. (2020). Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives. *Land use policy*, 96, 104693.
- Mihalakakou, G., Souliotis, M., Papadaki, M., Menounou, P., Dimopoulos, P., Kolokotsa, D., ... & Papaefthimiou, S. (2023). Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 180, 113306.
- Susca, T. (2019). Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate. *Building and environment*, 162, 106273.
- Wardhani, W. K., Suyanto, I. R., & Azzahra, S. A. (2022). Review: Potensi & manfaat aplikasi green roof. *Jurnal Environmental Science*, 4(2). <https://doi.org/10.35580/jes.v4i2.24630>.
- Yang, J., Pyrgou, A., Chong, A., Santamouris, M., Kolokotsa, D., & Lee, S. E. (2018). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate. *Solar Energy*, 173, 597-609.
- Zheng, X., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Yang, S., Liu, H., & Huang, J. (2023). Green roof cooling and carbon mitigation benefits in a subtropical city. *Urban Forestry & Urban Greening*, 86, 128018.