

PENDINGINAN PASIF PADA BANGUNAN DI IKLIM TROPIS

N. T. Jeddy¹, L. Mufhida², dan T. A. Pratiwi³

¹⁻³ Program Studi Arsitektur, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: llula808@gmail.com

ABSTRAK: Bangunan memberikan kontribusi sebesar 40% terhadap peningkatan kebutuhan energi. Kebutuhan beban pendinginan pada bangunan meningkat signifikan dalam sistem pendingin udara aktif, terutama kebutuhan beban pendingin untuk bangunan di daerah tropis yang mendapatkan sinar matahari secara langsung sepanjang tahun. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dibutuhkan metode pendinginan pasif untuk mengatasi permasalahan bangunan dalam hubungannya dengan kualitas termal bangunan. Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan beberapa hasil penelitian yang mengkaji mengenai metode pendinginan pasif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berbagai jenis metode pendinginan pasif sebagai upaya untuk mengurangi radiasi matahari dan beban pendinginan pada bangunan. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap konservasi energi pada bangunan. Strategi *shading* dan ventilasi alami secara efektif mengurangi radiasi sinar matahari dan mendinginkan bangunan dengan parameter desain *solar chimney ventilation* dalam bentuk pengaruh tinggi, panjang, lebar dan material terhadap peningkatan kecepatan udara di dalam bangunan di daerah tropis lembab.

Kata Kunci: Peneduh, Pendinginan Pasif, Termal, Ventilasi, Vegetasi

ABSTRACT: Buildings contribute 40% to the increase in energy needs. The cooling load requirements in buildings increase significantly in active air conditioning systems, especially the cooling load requirements for buildings in tropical areas that receive direct sunlight throughout the year. To overcome this problem, a passive cooling method is needed to overcome building problems in relation to the thermal quality of the building. This research was carried out by collecting several research results that examined passive cooling methods. This research aims to determine various types of passive cooling methods as an effort to reduce solar radiation and cooling loads on buildings. This research is expected to contribute to energy conservation in buildings. Shading and natural ventilation strategies effectively reduce solar radiation and cool the building with solar chimney ventilation design parameters in the form of the influence of height, length, width and material on increasing air velocity inside buildings in humid tropical areas.

Key words: Shading, Passive Cooling, Thermal, Ventilation, Vegetation

PENDAHULUAN

Merasakan rasa nyaman di dalam bangunan tempat tinggal merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia. Kenyamanan bangunan memiliki hubungan yang erat dengan kondisi alam ataupun lingkungan di sekitarnya. Kondisi iklim di daerah tropis mempunyai karakteristik temperatur udara tinggi, kelembaban relatif tinggi, dan kecepatan angin yang rendah sehingga kondisi lingkungan tidak nyaman. Permasalahan pada bangunan di daerah tropis umumnya disebabkan oleh perpindahan panas berlebih dari ruang luar bangunan ke dalam bangunan sehingga mempengaruhi kenyamanan manusia

di dalam bangunan. Dalam mengatasi masalah tersebut, manusia akan melakukan apa saja demi mendapatkan tingkat kenyamanan termal yang diinginkan, salah satunya penggunaan pendinginan mekanik yaitu *Air Conditioner* (AC).

Penggunaan pendinginan mekanik bukan cara terbaik dalam mengatasi masalah kenyamanan termal karena hanya dapat digunakan untuk penghindaran, dan akan menggunakan energi dalam jumlah cukup besar jika penggunaannya tidak terkendali. Untuk mendapat suhu yang nyaman di dalam ruang dengan cara yang berkelanjutan (*sustainable*), harus menerapkan tiga tingkatan pendekatan perancangan pada bangunan, yakni

penghindaran panas, pendinginan pasif (pengudaraan alami), dan pendinginan mekanik (pengudaraan buatan). Dengan demikian, penggunaan pendinginan mekanik akan menjadi alternatif terakhir untuk mendapatkan kenyamanan termal dalam ruang.

Pendinginan pasif (*Passive Cooling*) merupakan pendinginan ruang terbaik dalam suatu rancangan arsitektur yang berkelanjutan. Pendinginan pasif pada bangunan bertujuan untuk konservasi alam dan kesehatan, membuat desain yang kontekstual dengan lingkungan sekitar sesuai dengan iklim setempat, serta menguntungkan jika ditinjau dari segi ekonomi bangunan (hemat energi). Teknik pendinginan pasif merupakan teknik paling efektif untuk menghadapi permasalahan suhu yang ada pada iklim tropis, namun desain *passive cooling* pada bangunan di daerah iklim tropis masih menjadi salah satu masalah yang sulit dipecahkan. Padahal, desain bangunan/tempat tinggal yang baik adalah desain yang dapat memelihara lingkungan dalam bangunan dengan baik dan nyaman tanpa penggunaan peralatan mekanis.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan metode deskriptif kualitatif, dan teknik kajian Pustaka untuk pengumpulan data, melalui penelusuran literatur penelitian-penelitian terdahulu yang berasal dari jurnal, tesis dan artikel dengan pokok bahasan yang sama yaitu mengenai metode pendinginan pasif. Penelitian deskriptif kualitatif adalah suatu metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat postpositivisme yang biasanya digunakan untuk melakukan penelitian pada kondisi objektif yang alamiah dimana peneliti berperan sebagai instrumen kunci (Sugiyono, 2008). Studi ini mengkaji berbagai jenis metode pendinginan pasif yang cenderung mengurangi radiasi matahari dan beban pendinginan pada bangunan. Selain itu, peneliti juga mengkaji penerapannya pada bangunan di daerah tropis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu pendekatan berkelanjutan untuk menjaga suhu bangunan secara alami adalah mengadopsi strategi pendinginan pasif (Kamal, 2012). Dalam konteks ini, "pasif" mengacu pada penggunaan minimal ataupun tidak menggunakan peralatan energi seperti pompa dan kipas angin. Pengendalian dilakukan untuk membatasi jumlah panas yang masuk agar suhu interior tetap lebih rendah daripada suhu alam di sekitar bangunan (Givoni, 1994). Dalam desain pasif, energi bergerak secara alami melalui

proses radiasi, konveksi, atau konduksi (Kamal, 2012). Pada beberapa kasus, sistem pendinginan pasif dapat memanfaatkan kipas atau pompa untuk meningkatkan kinerja (Givoni, 1994), hal ini seringkali melibatkan pendekatan hibrida. Dalam beberapa sistem pendinginan pasif, suhu interior dapat tetap rendah tanpa hanya mengandalkan penggunaan peralatan minimal.

Strategi pendinginan mencakup tiga tingkatan yang mencegah panas berlebih di bagian dalam bangunan (Asimakopulos, 1996), yaitu:

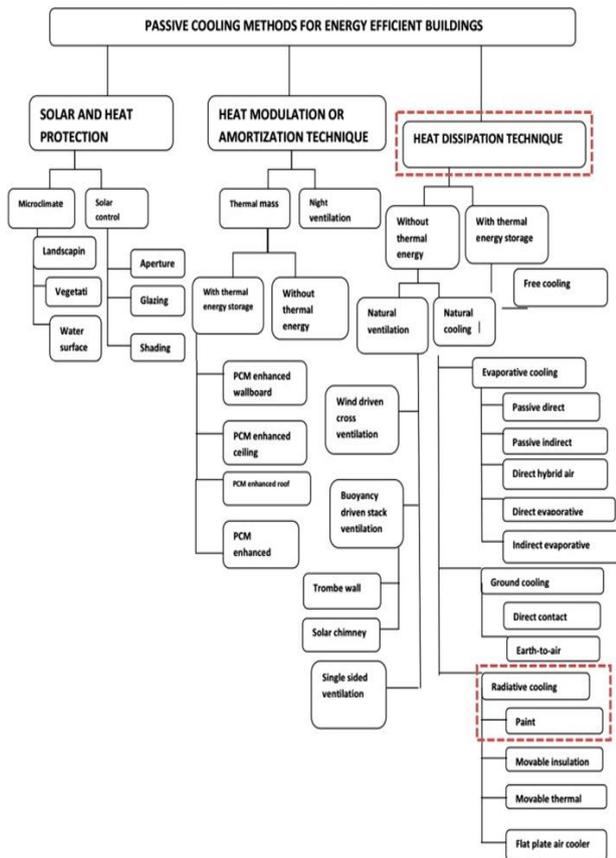
1. Strategi pendinginan pasif perlu menghindari peningkatan panas dalam gedung. Hal yang harus dipertimbangkan mencakup isolasi dinding bangunan, pencahayaan matahari yang dibayangi pada bagian fasad, dan karakteristik permukaan seperti tipe warna pada lapisan luar (Asimakopulos, 1996).
2. Pengaturan panas harus diatur melalui pengendalian matahari yang efisien guna mencapai keseimbangan antara pengaturan perolehan panas dan penerimaan cahaya matahari yang memadai, dengan tetap memenuhi persyaratan arsitektur dan struktural dari lapisan pelindung bangunan. Diperlukan juga tingkat beban panas yang nyaman dengan mengatur suhu sesuai dengan kebutuhan penggunaan ruang internal selama proses desain (Mumovic dan Santamouris, 2009).
3. Panas di bagian dalam bangunan harus dikurangi dengan *heat sink* (pendinginan alami atau hibrida) melalui infiltrasi udara (Al-Obaidi et al. 2014), sifat permukaan seperti warna permukaan internal dan peralatan hemat energi yang dapat mengurangi perolehan panas internal (Mumovic dan Santamouris, 2009).

Pendekatan pertama dan kedua bertujuan untuk mengurangi perolehan panas dan suhu udara di dalam bangunan, sementara pendekatan ketiga fokus pada penurunan suhu udara dalam ruangan. Untuk mencegah masuknya atau menghilangkan panas dari bangunan, ada dua faktor yang diperlukan, yakni *heat sink* yang memiliki suhu lebih rendah daripada suhu udara dalam ruangan, dan peningkatan mekanisme perpindahan panas ke *heat sink* tersebut. Kondisi ini dapat dicapai melalui berbagai jenis *heat sink* lingkungan yang terbagi menjadi empat kategori, yaitu:

1. Udara sekitar yang memindahkan panas secara konveksi.
2. Langit (atmosfer bagian atas) yang memindahkan panas melalui radiasi gelombang panjang melalui permukaan bangunan, seperti atap.

3. Air yang memindahkan panas melalui penguapan di dalam dan/atau di luar kain bangunan.
4. Tanah (di bawah permukaan tanah), yang memindahkan panas secara konduksi melalui kain bangunan.

Strategi pendinginan pasif, yang umumnya terbagi dalam tiga kategori, yakni pencegahan/pengurangan panas (mengurangi perolehan panas), moderasi termal (memodifikasi perolehan panas), dan pembuangan panas (menghilangkan panas dalam) (Geetha dan Velraj, 2012).



Gambar 1 Klasifikasi pendekatan pendinginan pasif pada bangunan hemat energi. (Sumber: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263514000399?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=802bf215d92e3579)

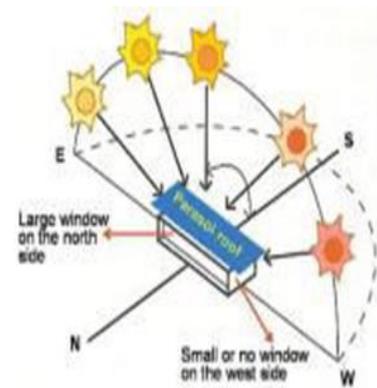
Teknik pendinginan pasif dikategorikan menjadi lima metode, yakni *radiative cooling*, *evaporate cooling*, *heat avoidance*, *earth coupling*, dan *ventilative cooling* (Abrams, 1986). Teknik pendinginan pasif untuk bangunan arsitektur tropis dijabarkan sebagai berikut.

1. Teknik *heat avoidance*, tinjauan terhadap strategi desain pasif menunjukkan bahwa orientasi, bentuk bangunan, serta bukaan dan

naungannya merupakan strategi efektif untuk menghindari panas eksternal di iklim tropis.

- Orientasi

Orientasi bangunan merupakan strategi pasif yang paling efektif dan harus ditentukan berdasarkan sudut angin dan matahari yang ada (Thomas dan Garnham, 2007). Bangunan harus menghindari bukaan besar di bagian timur dan barat yang menerima sekitar dua kali jumlah radiasi dibandingkan dengan elevasi di utara dan Selatan (La Roche et al. 2001).



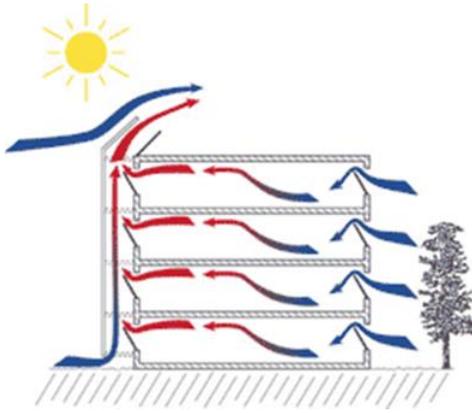
Gambar 2 Orientasi bangunan pada iklim tropis. (Sumber: https://www.academia.edu/28730997/Study_on_Efficiency_of_Passive_Cooling_Strategies_on_Thermal_Comfort_Attainment_wit_hin_Tropical_Climate)

- Bentuk bangunan

Denah persegi panjang pada bagian timur-barat merupakan hal yang tidak dapat dihindari di daerah tropis, arsitek harus membatasi paparan pada sisi timur dan barat (Konya, 1980). Selain itu, denah lantai yang dangkal lebih efisien karena mendorong lebih banyak aliran udara di dalam gedung (Tombazis dan Preuss, 2001).

- Bukaan jendela untuk ventilasi

Jendela dan bukaan berperan penting dalam strategi ventilasi silang. Lokasi dan ukuran jendela yang tepat dapat mengurangi beban pendinginan pada bangunan (Konya, 1980). Selain itu, bukaan kecil di dekat langit-langit dapat menjamin pertukaran udara minimal dalam ruangan tanpa meningkatkan perolehan panas secara signifikan (Koch Nielson, 2007).



Gambar 3 Diagram *cross and stack ventilation*. (Sumber: https://www.academia.edu/28730997/Study_on_Efficiency_of_Passive_Cooling_Strategies_on_Thermal_Comfort_Attainment_within_Tropical_Climate)

- *Sun-shading*

Proyeksi kanopi pada bagian atas bukaan di sisi timur dan barat merupakan strategi terbaik untuk merespon jalur matahari (Koch Nielsen, 2007). Sirip yang menonjol pada sisi bukaan di utara dan selatan mengurangi jumlah radiasi dan akan berpengaruh pada beban pendinginan bangunan.

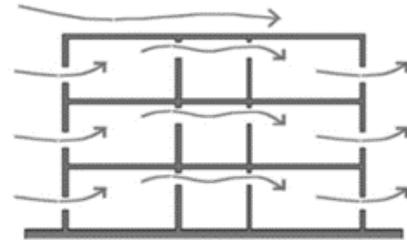
2. Ventilasi alami

Studi mengenai penggunaan udara segar dalam bangunan menunjukkan bahwa kontrol penghuni yang lebih besar dan kualitas lingkungan tingkat tinggi dapat dicapai dengan penerapan ventilasi alami dibandingkan dengan ventilasi mekanis (de Dear dan Brager, 1998). Studi perbandingan mengenai penghematan biaya kesehatan antara ventilasi alami dan mekanis menunjukkan bahwa penghematan akan meningkat hingga 18% dengan semakin banyaknya penggunaan ventilasi alami dalam sistem mode campuran (Brager, Borgeson, dan Lee, 2007). Penggunaan ventilasi alami dapat mengurangi biaya pengoperasian, memberikan kenyamanan termal yang memuaskan, dan mengubah kualitas udara dalam ruangan. Menerapkan ventilasi alami sebagai strategi pendinginan pasif pada bangunan menjadi peluang besar untuk memperbaiki permasalahan terkait pendinginan buatan pada bangunan (Wang, Wong Nyuk, dan Li, 2007). Penerapan ventilasi alami pada bangunan memastikan perubahan udara dan tingkat kecepatan yang

relevan dalam ruangan melalui mekanisme sederhana dengan tujuan menyiapkan angin yang cukup. Sistem ventilasi alami dibagi sebagai berikut.

- Ventilasi silang (*cross ventilation*)

Adanya ventilasi silang dapat menjamin aliran udara ventilasi yang cukup secara umum, harus ada variasi tekanan angin di antara bukaan saluran keluar dan masuk hambatan dalam yang paling kecil.



Gambar 4 Ventilasi silang. (Sumber:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1473/1/012054/pdf>)

- Ventilasi cerobong (*stack effect*)

Sistem ventilasi cerobong merupakan sistem ventilasi yang diarahkan secara vertikal, bahkan sampai melintasi atap bangunan. Prinsip ventilasi cerobong lebih banyak karena adanya faktor “hisapan” dari bagian atas yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara yang cukup besar antara bagian atas dan bagian bawah.

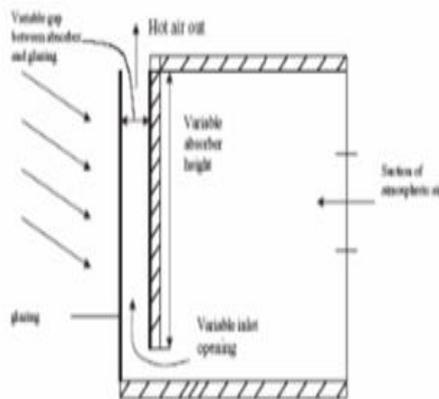
- Ventilasi bolak balik

Sistem ventilasi bolak balik terjadi pada suatu ruangan apabila ruangan hanya terdapat satu sisi bukaan saja. Prinsip ventilasi bolak balik hanya terdapat satu sistem sisi tempat kedudukan bukaan. Pada sisi yang bersangkutan, dapat diterapkan satu bukaan maupun beberapa bukaan angin yang akan bersirkulasi dalam ruangan.

- Ventilasi solar chimney

Penggunaan desain parameter *vertical solar chimney ventilation* (tinggi, lebar, panjang dan bahan) yang optimal menjadikan kecepatan udara meningkat (0,15 m/s), bagus untuk mendinginkan suhu di dalam ruangan. Suhu rata-rata di dalam ruang adalah antara 26°C dan 29.5°C selama 10 hingga 15 jam, yang artinya sekitar 0,5°C lebih rendah dari rumah sederhana yang normal tanpa *vertical solar chimney*

ventilation. Penggunaan solar chimney pada bangunan merupakan salah satu cara untuk meningkatkan ventilasi alami melalui peningkatan kualitas udara di dalam bangunan. Bentuk solar chimney telah lama dikenal dan diterapkan pada desain arsitektur vernakular. Secara umum, pengaruh pergerakan udara tidak secara langsung menarik udara dalam bangunan. *Stack chimney* pada umumnya dirancang dan dikombinasikan dengan menara angin di daerah iklim panas kering. Di banyak jenis bangunan yang berventilasi, angin dianggap lebih penting dibanding *buoyancy*. Ini sebabnya *wind induced* pada arus ventilasi lebih kuat dari arus *stack induced*, khususnya di dalam bangunan satu lantai (Satwiko, 1993).



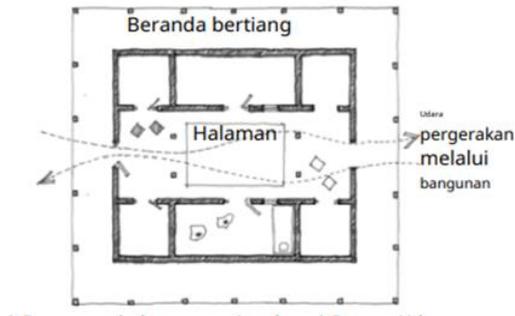
Gambar 5 Potongan vertikal solar chimney. (Sumber: Jyotirmay, 2006)

Ventilasi alami dapat diaplikasikan sebagai berikut.

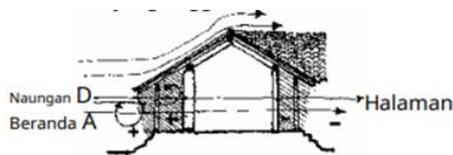
- *Air Well Design*
Proses *stack effect* menghasilkan aliran udara vertikal dalam gedung untuk menggantikan udara panas dengan udara segar dan sejuk, membantu membuang polusi udara dalam ruangan. Alternatifnya, bangunan kecil dapat menggunakan cerobong asap dan saluran *stack air*, sedangkan bangunan lebih besar dapat menggunakan *air well* (atrium) untuk memastikan kenyamanan termal dengan cukupnya aliran udara segar.
- Desain fasad
Fasad bangunan termasuk dinding, atap, dan seluruh bukaan berperan penting dalam

mengendalikan dan memastikan aliran udara dalam ruangan dapat tetap terjaga melalui kombinasi udara segar luar dan udara dalam ruangan. Desain fasad yang tepat akan mengurangi beban pendinginan secara keseluruhan dan meminimalkan penggunaan AC (E. M. Okba, 2005). *Double skin facade* adalah salah satu strategi efektif dalam yang mengurangi transmisi melalui perlindungan dinding kaca reflektif (Cristian Ghiaus dan Claude Alain Roulet, 2005).

- Bukaan ventilasi
Bukaan ventilasi di sisi berangin berperan penting dalam aliran udara segar dan membuang udara bekas dari gedung. Desain lokasi bukaan yang tepat dan jumlah jendela serta pintu yang sesuai adalah faktor utama untuk kenyamanan termal (Heiselberg P., 2002). Bukaan seperti jendela, pintu, ventilasi, dan kisi-kisi juga penting untuk mencegah pencahayaan dan ventilasi buatan (Eley Associates, 2004; Claude-Alain Roulet dan Cristian Ghiaus, 2005). Ventilasi satu sisi dan ventilasi malam dapat mengurangi kebutuhan pendinginan hingga 30% jika ditempatkan pada sisi yang tepat.
- Koridor bangunan
Koridor bangunan penting untuk mengalirkan udara dan menciptakan zona tekanan udara, dengan desain yang baik dapat memenuhi kebutuhan pergantian udara di berbagai zona bangunan (Mohamed et al. 2008; Cristian Ghiaus dan Claude-Alain Roulet, 2005; Junli Zhou et al. 2008).
Pada bangunan tropis berkonsep tradisional, halaman di dalamnya memungkinkan sistem ventilasi yang lebih baik dengan menjaga denah seminimal mungkin. Desain halaman dengan rangkaian bukaan dari pintu masuk melalui halaman ke bagian bangunan sebaliknya akan meningkatkan sirkulasi udara silang. Teras depan berperan sebagai koridor angin yang mengarahkan aliran udara ke halaman sebagai saluran udara, meningkatkan sirkulasi udara dalam bangunan. Untuk mencegah panas masuk, bukaan di sekeliling bangunan dilindungi dengan peneduh tebal dan atap yang luas. Tata letak bangunan tropis sering lebih terbuka untuk rasio atap yang lebih besar terhadap volume bangunan dan meningkatkan efisiensi ventilasi.



Gambar 6 Bangunan halaman tropis sebagai corong udara, Rumah seorang biksu di Kandy (1771 M) – Halaman tradisional yang tinggal di Sri Lanka. (Sumber: <https://ft.budiluhur.ac.id/wp-content/uploads/2018/01/4-Sri-Kurniasih.pdf>)



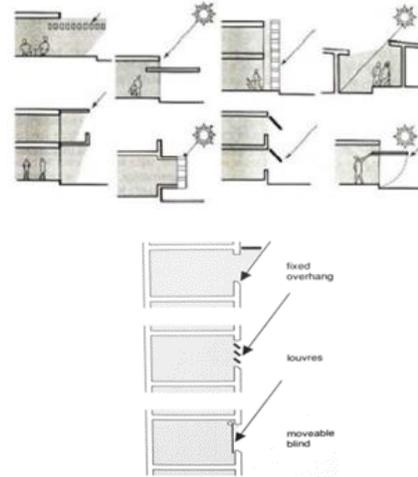
Gambar 7 Konfigurasi peneduh pada hunian tradisional – memberikan bayangan volumetrik dalam hal kedalaman dan tinggi denah. (Sumber: <https://ft.budiluhur.ac.id/wp-content/uploads/2018/01/4-Sri-Kurniasih.pdf>)

Perbedaan tekanan disebabkan oleh angin dan suhu (Szokolay, 1986). Angin yang terhalang oleh bangunan menciptakan tekanan tinggi di satu sisi dan tekanan rendah di sisi lain, memungkinkan aliran udara melalui gedung. Perbedaan suhu, yang disebut *stack effect*, juga mempengaruhi tekanan antara *indoor* dan *outdoor*. Dalam *stack effect*, udara hangat naik melalui saluran atas, sementara udara dingin masuk melalui saluran bawah, terutama karena panas dan kelembaban dari penghuni dan sumber internal lainnya (Abdul Rahman, 1999).

3. Shading

Evaluasi kinerja teknik pendinginan pasif seperti *shading*, isolasi, dan nilai tukar udara menunjukkan penurunan suhu ruangan sekitar 2,5°C-4,5°C akibat penggunaan *shading*. Modifikasi dengan insulasi dan pengendalian nilai tukar udara menghasilkan penurunan tambahan sebesar 4,4-6,8°C. *Shading* terbukti berguna dalam pengembangan sistem pendinginan pasif yang memiliki peran penting. Keputusan tentang penerapan *shading* dapat

signifikan dalam meningkatkan tingkat kenyamanan dalam ruangan. Baik *shading* sebagai bagian bangunan ataupun *shading* terpisah dari fasad dapat mengurangi perolehan panas dan pendinginan yang diperlukan, serta meningkatkan pencahayaan alami dalam bangunan dari teritisan, kisi-kisi, dan *awning*.



Gambar 8 dan 9 Jenis *shading*. (Sumber: <http://www.iotpe.com/IJTPE/IJTPE-2011/IJTPE-Issue9-Vol3-No4-Dec2011/11-IJTPE-Issue9-Vol3-No4-Dec2011-pp72-79.pdf>)

Desain *shading* yang efektif tergantung pada orientasi matahari pada fasad bangunan. Misalnya, teritisan sederhana cocok untuk melindungi jendela selatan dari sinar matahari saat matahari tinggi, tetapi tidak efektif untuk melindungi jendela barat saat matahari rendah. Jenis-jenis *shading* meliputi:

- Tirai *roller blind*, kaca film, dll yang dapat mengurangi perolehan sinar matahari namun menghalangi pergerakan udara dan menghalangi pandangan.
- Kisi-kisi jendela yang dapat disesuaikan atau diperbaiki. Sampai batas tertentu menghambat pergerakan udara dan memberikan keteduhan pada bangunan dari radiasi matahari.
- Teritisan yang memberikan perlindungan pada dinding dan bukaan terhadap sinar matahari dan hujan.

4. Penanaman vegetasi

Vegetasi dalam pendinginan pasif adalah cara sederhana dan efektif untuk mengelola kenyamanan termal dengan konsumsi daya yang

lebih rendah. Ini dapat menurunkan suhu permukaan dan udara, memberikan keteduhan, dan meningkatkan kelembaban relatif. Area hijau kecil dapat menurunkan suhu hingga 3,5°C dan meningkatkan kelembaban relatif 5-10%, memberikan udara segar serta ventilasi pada pusat kota yang panas dan berpolusi (Bernatzky, 1982). Vegetasi juga menghasilkan efek peneduh, mengurangi radiasi matahari, dan meningkatkan evaporasi-transpirasi, yang membantu menjaga kelembaban relatif dan pendinginan.

5. *Green roof*

Green roof adalah penggunaan tanaman untuk meningkatkan kinerja dan tampilan atap. *Green roof* membantu mengurangi penyerapan panas, banyak penelitian menyatakan bahwa *green roof* mampu mengurangi konsumsi energi dengan menurunkan penyerapan panas dan meningkatkan kenyamanan dalam gedung, serta berkontribusi pada penghematan energi. Pemasangan *green roof* menghasilkan suhu permukaan yang lebih rendah, mengurangi panas masuk ke dalam gedung, dan mengurangi kebutuhan AC. Selain manfaat termal, *green roof* juga mengelola air hujan, memiliki aspek estetika dan praktis, serta mengurangi polusi suara.

KESIMPULAN

Salah satu masalah yang sering terjadi pada bangunan di daerah tropis adalah permasalahan kenyamanan termal di dalam ruangan. Untuk mengatasi permasalahan kenyamanan termal pada iklim daerah tropis, terdapat tiga tingkatan pendekatan perancangan pada bangunan, yakni penghindaran panas, pendinginan pasif, dan pendinginan mekanik. Pendinginan pasif sangat dianjurkan untuk diterapkan pada bangunan demi mencapai kenyamanan termal yang memadai. Adanya strategi penghindaran panas, penggunaan ventilasi alami, penggunaan *shading*, penanaman vegetasi, serta penggunaan *green roof* merupakan teknik pendinginan pasif yang cocok digunakan untuk bangunan arsitektur tropis. Penghindaran panas pada bangunan dapat dilakukan dengan memperhatikan orientasi, bentuk, bukaan, dan naungan pada bangunan. Setiap bangunan yang berada di iklim tropis dianjurkan untuk memiliki ventilasi alami berupa bukaan, baik dengan sistem ventilasi silang, ventilasi cerobong, ventilasi bolak-balik, dan ventilasi solar chimney. Teknik pendinginan pasif telah diketahui sebagai teknik paling efektif untuk menghadapi permasalahan suhu yang ada pada iklim tropis, sehingga

pembelajaran lebih lanjut mengenai strategi pendinginan pasif pada bangunan sangat penting untuk dipelajari.

DAFTAR PUSTAKA

- Aflaki, Ardalan, Norhayati Mahyuddin, dan Zakaria Al-Cheikh Mahmoud Awad. (2012). Study on Efficiency of Passive Cooling Strategies on Thermal Comfort Attainment Within Tropical Climate. https://www.academia.edu/28730997/Study_on_Efficiency_of_Passive_Cooling_Strategies_on_Thermal_Comfort_Attainment_within_Tropical_Climate.
- Chetan, Vaddin, dkk. (2020). Review of Passive Cooling Methods for Buildings. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1473/1/012054/pdf>.
- Febrita, Yuswinda. (2011). Ventilasi Selay Chimney Sebagai Alternatif Desain Passive Cooling di Iklim Tropis Lembab. <https://www.neliti.com/id/publications/221050/ventilasi-solar-chimney-sebagai-alternatif-desain-passive-cooling-di-iklim-tropis>.
- Ishak, M. Fahmi. (t.t.). Aplikasi Penghawaan Alami pada Bangunan Beriklim Tropis. <https://stitekbinaruna.ejournal.id/radial/article/view/20/12>.
- Kamarulzaman, Noorazlina, dkk. (2014). Green Roof Concepts as a Passive Cooling Approach in Tropical Climate- An Overview. https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2014/02/e3sconf_etsdc2014_01028.pdf.
- Karam, M. Al-Obaidin, Mazran Ismail, dan Abdul Malek Abdul Rahman. (2014). Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263514000399?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=802bf215d92e3579.
- Kurniasih, Sri. (2018). Passive Cooling sebagai Pengudaraan Alami pada Rumah Tinggal. <https://ft.budiluhur.ac.id/wp-content/uploads/2018/01/4-Sri-Kurniasih.pdf>.
- Maleki, B. Ahmadkhani. (2011). Shading: Passive Cooling and Energy Conservation in Buildings. <http://www.iotpe.com/IJTPE/IJTPE-2011/IJTPE-Issue9-Vol3-No4-Dec2011/11-IJTPE-Issue9-Vol3-No4-Dec2011-pp72-79.pdf>.
- Negin, Nazariana, dkk. (2019). Effectiveness of cool walls on cooling load and urban temperature in a tropical climate. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778818317390?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=802bf5ab7a5f71#abs0001.
- Rachman, Aditya. (2014). Tree as Passive Cooling, An Alternative Approach to Enhance the Thermal Comfort in Building in Southeast Sulawesi, A

TropicalRegion.https://www.academia.edu/9667246/Tree_as_Passive_Cooling_An_Alternative_Approach_to_Enhance_the_Thermal_Comfort_in_Building_in_Southeast_Sulawesi_A_Tropical_Region.

Rajapaksha, Indikra. (2004). Passive Cooling in the Tropics: A Design Proposition for Natural Ventilation. https://www.researchgate.net/publication/260255576_Passive_Cooling_in_the_Tropics_A_Design_Proposition_for_Natural_Ventilation.

Utpariya, Avantika, dan Soma A. Mishra. (2018). Passive Cooling by Shading Devices in High Rise Buildings in Tropical Climate. https://ijresm.com/Vol_1_2018/Vol1_Iss10_October18/IJRESM_V1_I10_154.pdf.