

STRATEGI DESAIN BANGUNAN UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS TERMAL BANGUNAN

A.B. Putra¹, A.R.M. Paulus¹, M.S.F. Arifin¹

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

ABSTRAK: Pembangunan perkotaan tidak merata menyebabkan masalah lingkungan seperti temperatur udara tinggi dan polusi udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi strategi yang dapat diterapkan pada desain bangunan sehubungan dengan kualitas termal bangunan. Pengumpulan data dilakukan melalui penelitian di berbagai jurnal terkait kenyamanan termal. Informasi yang diperoleh mengacu pada material, lokasi dan karakteristik yang dapat diterapkan dalam perancangan suatu struktur arsitektur untuk meningkatkan kenyamanan termal. Faktor yang dihasilkan tidak hanya yang dapat diterapkan tetapi juga potensi penggunaan metode pendinginan tertentu di area tertentu. Iklim tropis lembab sendiri ditandai dengan temperatur udara dan kelembaban udara relatif tinggi, sehingga dibutuhkan pengaturan sirkulasi udara dalam bangunan untuk menunjang kenyamanan termal bangunan. Faktor kenyamanan termal musiman juga mempengaruhi perubahan perilaku pengguna bangunan, sehingga setiap pengguna memiliki karakteristik unik di setiap musim. Lingkungan termal dapat dikendalikan dengan sistem pendinginan pasif dengan mempertimbangkan *shading external* dan insulasi, *double skin facade*, dan rekayasa bentuk bangunan. Penggunaan *shading external* dan insulasi penting untuk meningkatkan kenyamanan termal, terutama di daerah tropis, peneduh luar ruangan ini dapat membantu menurunkan temperatur udara dalam ruang. Penempatan *double skin facade* di area yang terkena radiasi matahari langsung dan pemilihan material dengan warna cerah dan permukaan halus juga merupakan strategi pasif untuk menghadapi iklim tropis. Selain itu konfigurasi atap, balkon dan letak bukaan ventilasi dapat mempengaruhi distribusi udara suatu bangunan.

Kata Kunci: Kenyamanan termal, Ventilasi, Sinar matahari, Material bangunan

ABSTRACT: *Urban development causes environmental problems such as high temperatures and air pollution. This research aims to identify strategies that can be applied to building design related to thermal quality of building. Data collection was carried out through research in various journals related to thermal comfort. The information obtained refers to the material, location and characteristics that can be applied in the designing an architectural structure to increase thermal comfort. The resulting factor is not only the applicable but also the potential use of a particular area. The humid tropical climate itself is characterized by high temperatures and high relative humidity, so it is necessary to regulate air circulation in buildings to support the building's thermal comfort. Seasonal thermal comfort factors also affect changes in the behavior of building users, so each user has unique characteristics in each season. The thermal environment can be controlled by considering passive cooling, external shading and insulation, double skin facades and building form engineering. The use of external shading and insulation is important to increase thermal comfort, especially in tropical areas, this outdoor shading can help reduce indoor temperatures. Placing double skin facades in areas exposed to direct solar radiation and choosing materials with bright colors and smooth surface is also a passive strategy for dealing with tropical climates. In addition, the configuration of the roof, balconies and the location of ventilation openings can affect the air distribution of a building.*

Key words: *Thermal comfort, Ventilation, Sunlight, Building material*

PENDAHULUAN

Peristiwa urbanisasi ditunjukkan dengan adanya perpindahan penduduk dari daerah pedesaan menuju daerah perkotaan, yang mana hal ini menunjukkan adanya interaksi antara daerah perkotaan dengan pedalaman. Perubahan sosial yang terjadi pada masa dekat ini diakibatkan berbagai faktor, seperti sosial, ekonomi, dan

lingkungan, dimana pengaruh ini merupakan hasil dari urbanisasi itu sendiri (He et al., 2023). Urbanisasi mulai menjadi perhatian di masalah perkotaan, dimana pada negara-negara di dunia bagian selatan, urbanisasi menimbulkan manajemen kota yang buruk. Seperti perkembangan urban yang tidak terkoordinasi, area ekologi yang mulai rusak, dan meningkatnya kemiskinan (Almulhim & Cobbinah, 2023). Terjadinya urbanisasi

yang sangat pesat di sebuah perkotaan menimbulkan berbagai isu, terutama adanya dampak buruk dari meningkatnya temperatur di perkotaan. *Urban warming* dan perubahan iklim memperburuk keadaan di perkotaan yang telah padat (Acero et al., 2022). Perkotaan di daerah Indonesia yang merupakan daerah Tropis terus berkembang seiring meningkatnya jumlah penduduk. Untuk mengurangi ketidaknyamanan termal, di kawasan ini diperlukan perancangan yang matang baik pada *urban planning* ataupun pada skala mikro, seperti pemilihan material di masing-masing bangunan.

Perkembangan perkotaan merujuk pada meningkatnya ukuran dari kota itu sendiri, infrastruktur, dan fasilitas publik dikarenakan meningkatnya investasi serta masuknya populasi baru. Perkembangan ini menjadi pusat dari geografis perkotaan. Perkembangan daerah urban biasa dilihat dari peningkatan penduduk, peningkatan ekonomi, ekspansi spasial, serta manajemen perkotaan (Zhang et al., 2023). Perkembangan perkotaan yang tidak teratur dapat memicu masalah lingkungan seperti panas yang ekstrim dan polusi udara (Rao et al., 2023). Pada masa modern ini, kehidupan manusia sudah mulai bergantung pada keberadaan infrastruktur layaknya transportasi, energi, komunikasi, irigasi, dan peningkatan pembangunan. Infrastruktur memiliki keterikatan kuat dengan keberhasilan dari perkembangan nasional. Karena itu, peningkatan pembangunan infrastruktur menjadi prioritas pada berbagai negara, terutama negara berkembang (Wiratama et al., 2023).

Kenyamanan termal dapat didefinisikan sebagai kondisi pikiran, yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal. Untuk memberikan kenyamanan termal dalam ruangan, pergerakan udara di dalam bangunan yang berventilasi alami harus diatur sebesar 0,1-1,5 m/s (Prianto and Depecker, 2003).

Desain dalam suatu bangunan dalam hubungannya dengan kenyamanan termal dapat ditingkatkan melalui teknik pendinginan aktif maupun pasif.

Teknik pendinginan pasif adalah kemampuan suatu bangunan dengan ventilasi alami untuk menghasilkan penurunan temperatur udara ruangan sehingga mendorong terjadinya peningkatan kenyamanan dalam ruang. Teknik pendinginan pasif dapat menggunakan pengaturan *cross ventilation* dengan mendorong pergerakan udara menuju tubuh manusia (Hu et al., 2023). Upaya ini berhubungan dengan pengurangan penggunaan energi untuk pendinginan ruangan (HVAC) dalam kaitannya dengan kenyamanan termal pengguna ruangan (Su et al., 2023)

Teknik pendinginan pasif mempertimbangkan *comfort ventilation, night ventilation, radiative cooling, direct evaporative cooling, indirect evaporative cooling* (Putra et al., 2022). *Comfort ventilation* ditentukan dengan memperhitungkan waktu dimana aliran angin menuju bangunan dapat menghilangkan panas lebih di dalam ruangan. *Night Ventilation* menghilangkan panas dari dalam bangunan pada malam hari melalui masuknya udara dingin luar ruangan dan mengurangi peningkatan temperatur dalam ruangan pada siang hari. *Radiative cooling* yang melibatkan *nocturnal longwave radiation*

untuk melepaskan panas ke udara luar. *Direct Evaporative Cooling* dapat diterapkan dengan menurunkan temperatur selagi meningkatkan tingkat humiditas melalui evaporasi air. *Indirect Evaporative Cooling* melalui pendinginan primer yang dihasilkan melalui evaporasi, tetapi keseluruhan bangunan ini didinginkan secara tidak langsung tanpa meningkatkan tingkat humiditas dalam ruangan, serta adanya pemanfaatan tanah untuk mendinginkan bangunan.

Sebagian besar penggunaan energi di dunia berasal dari sektor konstruksi bangunan, sehingga sangatlah penting untuk mengontrol kondisi kenyamanan termal dengan penggunaan energi seminimum mungkin. Sistem HVAC merupakan salah satu sumber penggunaan energi terbesar baik pada bangunan residensial maupun bangunan komersil. Sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air-conditioning*) menggunakan energi untuk mengontrol kualitas udara, humiditas, dan aliran udara dalam suatu bangunan. Karena itu, kegagalan pada sistem ini dapat mengakibatkan ketidaknyamanan termal, kualitas udara yang buruk, dan produktivitas yang berkurang (Alam et al., 2023; Irani et al., 2023)

Guna meningkatkan kinerja pengguna suatu bangunan, kenyamanan termal sangatlah penting untuk menjadi poin penting dalam desain. Karena itu, dibutuhkan metode dalam pengendalian dan mempertahankan kondisi termal, serta mencapai kenyamanan termal terhadap pengguna bangunan. Dari latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui strategi yang dapat diterapkan dalam desain bangunan dengan hubungan terhadap kualitas termal bangunan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif. Pengumpulan data dilakukan melalui studi berbagai jurnal yang berkaitan dengan kenyamanan termal. Cakupan studi yang diperoleh tidak terbatas pada daerah tertentu, tetapi memiliki batasan kepada faktor yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal pada suatu bangunan.

Data disajikan secara deskriptif. Informasi yang diperoleh membahas terkait material, lokasi, dan fitur yang dapat diterapkan dalam desain suatu karya arsitektur guna meningkatkan kenyamanan termal.

Hasil penelitian dari berbagai jurnal dikaitkan antara satu sama lain untuk mengkaji kesimpulan akhir yang dapat digunakan pada karya arsitektur untuk meningkatkan kenyamanan termal di suatu bangunan. Faktor-faktor yang diperoleh tidak hanya berupa fitur yang dapat diterapkan, melainkan juga potensi pada daerah tertentu dalam penggunaan metode pendinginan tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Iklim tropis lembab ditandai dengan temperatur dan kelembaban relatif tinggi, Temperatur udara dan kelembaban mempunyai pengaruh kuat terhadap kualitas udara yang dirasakan (Prianto and Depecker, 2003).

Temperatur udara perkotaan tinggi umumnya berhubungan dengan konsumsi energi tinggi, kenyamanan termal luar ruangan rendah, kualitas udara, dan kesehatan manusia (Tabatabaei, S. S., 2023). Maka dari itu, perlu dicari strategi untuk mengurangi fenomena *urban heat island* dan upaya untuk meningkatkan kenyamanan termal di luar ruangan.

Survei yang dilakukan Yadeta, C. (2023) di Ethiopia terkait kenyamanan termal yang melibatkan 870 penghuni dari 104 rumah, yang berlangsung antara Februari hingga September 2020. Pada semua lingkungan yang di survei, penghuni tidak menggunakan kontrol lingkungan elektrik seperti kipas angin, AC, dan pemanas. Hampir setengah dari penghuni (56,2%) menyatakan sensasi termal mereka dalam pita tengah (-1 hingga +1) dari skala sensasi, sementara 28,8% dan 15% penghuni menyampaikan sensasi pada sisi yang lebih hangat dan sisi yang lebih dingin dari pita tengah ini. Khususnya, 37% menunjukkan lebih menyukai lingkungan dalam ruangan yang lebih hangat. Sedangkan 33,9% lebih menyukai kondisi ruangan yang lebih sejuk. Unikunya hanya 63,4% penghuni yang menerima kondisi lingkungan termalnya.

1. Terdapat perbedaan signifikan pada skala sensasi termal selama musim kemarau. Sensasi termal dari hasil perhitungan berada antara 78% dan 56%, perbedaan antara sensasi termal (TS) dan prediksi suara rata-rata (PMV) melebihi masing-masing setengah dan satu titik skala.
2. Sebagian besar data kenyamanan berada di batas bawah standar kenyamanan Eropa untuk rancangan bangunan berventilasi alami. Kondisi ini mendorong keperluan rancangan yang dapat diterapkan untuk bangunan tempat tinggal pada iklim yang mirip dengan daerah Jimma. Rancangan mempertimbangkan kebebasan penghuni untuk menyesuaikan perilaku, pakaian, dan alat kontrol termal yang dapat dioperasikan.
3. Pada musim hujan, proporsi jendela terbuka rata-rata: 64%, dengan kondisi temperatur udara ruang pada musim hujan secara signifikan lebih rendah dibandingkan pada musim kemarau (pada 95% CI).
4. Dalam hal pakaian dan aktivitas, analisis menunjukkan bahwa terdapat adaptasi yang signifikan. Insulasi pakaian total bervariasi secara linier dengan operasi dalam ruangan suhu. Penghuni memilih menggunakan pakaian yang lebih ringan pada musim kemarau (rata-rata: 0,64 clo) dibandingkan pada saat musim hujan (rata-rata pakaian: 0,78 clo). Selain itu mereka juga terlibat dengan aktivitas yang jauh lebih berat pada musim hujan dibandingkan pada saat musim kemarau, terutama di siang hari.
5. Penghuni secara adaptif memanfaatkan energi biomassa untuk pemanas ruangan dengan 81,8% digunakan pada musim hujan dan 37,3% pada musim kemarau. Selain itu, berbagai tindakan pelaku dan intervensi struktural dalam selubung bangunan berkontribusi dalam mencapai kenyamanan termal tanpa bergantung pada kipas

angin, AC, dan pemanas ruang (Yadeta, C. et al., 2023).

Faktor kenyamanan termal musiman juga berpengaruh terhadap perubahan perilaku adaptasi penghuni bangunan, sehingga setiap penghuni memiliki karakteristiknya sendiri di setiap musim berbeda. Terdapat studi yang dilakukan selama 2 tahun pada bangunan tempat tinggal di Shaoxing, Provinsi Zhejiang, China oleh Yue, L. (2023). Sebanyak 172 apartemen (187 orang) disurvei dan 2400 kuesioner yang valid berisi tentang sensasi termal dari penghuni apartemen yang diperoleh selama 2 tahun. Studi ini mengungkapkan bahwa perilaku penghuni memiliki karakteristiknya sendiri di setiap musimnya, diantaranya sebagai berikut:

1. Sensasi termal pada musim panas dan musim dingin lebih sensitif terhadap temperatur udara dalam ruangan dibandingkan dengan dua musim lainnya. Temperatur udara rata-rata pada musim semi, panas, gugur, dan dingin masing-masing adalah 25,2°C, 26,1°C, 21,3°C, dan 19,6°C. Meskipun musim semi dan musim gugur memiliki karakteristik iklim sama, perbedaan musim semi dan musim panas hanya 0,9°C, sedangkan perbedaan antara musim gugur dan musim dingin hanya 1,7°C. Dengan demikian, musim berbeda dari sensasi termal menghasilkan adaptasi yang berbeda.
2. Temperatur udara rata-rata yang disukai adalah 23,4, 25,6, 24,3, dan 22,0°C pada musim semi, panas, gugur, dan dingin. Perbedaan temperatur udara yang disukai antara musim semi dan dingin adalah 1,4°C dan perbedaan antara musim panas dan musim gugur hanya 1,3°C. Hal ini menunjukkan bahwa periode transisi antara musim semi dan gugur sangat dipengaruhi oleh musim sebelumnya.
3. Lebar zona kenyamanan termal kelembaban udara 80% dan 90% untuk musim dingin, gugur, semu dan panas. Batas kelembaban udara diatas yang dapat diterima sebesar 80% dan kenyamanan 90%. Musim panas memiliki temperatur udara tertinggi, sedangkan musim dingin memiliki temperatur udara terendah
4. Studi ini menjelaskan setiap musim memiliki karakteristik sensasi termal dan persyaratan untuk kenyamanan termal berbeda. Hasil studi ini dapat digunakan sebagai dasar untuk efisiensi energi dan pemenuhan kebutuhan kenyamanan di masa depan (Yue, L., 2023).

Wilayah Indonesia dapat dibagi menjadi delapan zona, zona 1A (*equator*), 1B (*sub-equator*), 2A (*highland tropical*), 2B (*very highland tropical*), 3A (*monsoonal*), 3B (*sub-monsoonal*), 4A (*savanna*), dan 4B (*sub-savanna*). Dengan melihat berbagai variabel seperti kecepatan angin, temperatur, tingkat relatif humiditas, presipitasi hujan, dan jumlah *cloud cover*, wilayah Indonesia memiliki potensi untuk menerapkan tiga metode pendinginan pasif. Penggunaan metode *evaporative cooling* dapat digunakan di seluruh zona. Zona *monsoon*, *savanna*, dan *sub-savanna* cocok dalam

menggunakan metode *comfort ventilation*. Sedangkan zona *sub-equatorial* dapat menggunakan gabungan dari *night ventilation* dan *comfort ventilation* (Putra et al., 2022).

Singapura yang juga merupakan daerah tropis dapat dijadikan patokan untuk desain di Indonesia. Berbagai daerah perkotaan di Indonesia yang mulai memadat pun dapat mengambil contoh pada Singapura dari desain dan *urban planning*. Perhitungan temperatur udara pada ruang publik *semi-outdoor* di Singapura menunjukkan rendahnya temperatur udara dibandingkan dengan ruang publik *outdoor*. Perbedaan ini mencapai 2 °C lebih rendah dibandingkan ruang publik *outdoor*, dan di situasi tertentu dapat mencapai 4 °C. Perbedaan temperatur udara ini dapat disebabkan oleh perkembangan lingkungan sekitar dan keadaan cuaca lokal (seperti tingkat kemampuan ventilasi) (Acero et al., 2022). Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa peran *shading* sangatlah membantu dalam meningkatkan kenyamanan termal, terutama pada perancangan ruang publik *semi-outdoor*.

Lingkungan termal dapat dikendalikan dengan mempertimbangkan sistem pendinginan pasif.

A. *Shading External* dan Insulasi

Selain di luar ruangan, perancangan bangunan untuk di dalam ruangan pun harus direncanakan dengan matang demi meningkatkan kenyamanan pengguna. Di daerah tropis sendiri, panas matahari yang terus menyinari seluruh daerah sepanjang tahun dapat menjadi faktor desain yang akan mempengaruhi kenyamanan termal dalam ruangan. Walaupun sama-sama berlokasi di daerah tropis, dua bangunan dapat memiliki perbedaan karakteristik lapangan antara satu sama lain. Rata-rata temperatur udara ruang pada daerah tropis panas 1.1 °C lebih tinggi dibandingkan dengan tropis lembab, dan 0.2 °C dengan zona transisi. Dengan mengaplikasikan insulasi pada dinding dan langit-langit, rata-rata temperatur dalam ruangan berkurang 0,05 °C di daerah lembab. Pada daerah beriklim tropis panas berkurang hingga 0,25 °C, dan 0,18 °C pada daerah transisi. Sehingga, dapat disimpulkan insulasi termal memberi efek yang signifikan pada udara di dalam ruangan. Setelah diamati, penggunaan *shading external* memiliki efek signifikan pada bangunan yang terletak di daerah beriklim tropis. Pada daerah tropis panas, terdapat penurunan temperatur udara ruang dalam sebesar 0,04 °C, 0,05 °C di daerah tropis lembab, dan 0,03 °C di daerah transisi. Melalui data tersebut, dapat disimpulkan dimana penerapan *shading external* pada bangunan dapat mencapai temperatur udara ruang dalam yang nyaman dan mengurangi biaya dalam pendingin ruangan aktif. Ditambah lagi, penggunaan kombinasi antara insulasi dan *shading* dapat mengurangi temperatur udara ruang dalam 0,35 °C di daerah tropis panas, 0,14 °C di daerah beriklim lembab, dan 0,31 °C di iklim transisi (Nematchoua et al., 2020).

B. *Double Skin Facade*

Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu menggunakan pelapis fasad dan material yang dapat mengurangi panas dan meningkatkan kenyamanan termal. Tabatabaei, S. S. (2023) melakukan penelitian terhadap 20 sampel material fasad bangunan umum dan modern dengan mencatat temperatur udara selama lima hari 2 periode waktu, dan pengaruhnya terhadap temperatur udara udara luar ruangan melalui pengukuran lapangan. Penelitian ini mempelajari pengaruhnya terhadap fenomena *urban heat island* dan kenyamanan termal. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan batu travertine putih sebagai pengganti keramik coklat pada fasad bangunan dapat menurunkan temperatur udara dekat fasad sebesar 1,2 °C dan temperatur fasad sebesar 10 °C. Penggunaan dinding hijau juga dapat mengurangi temperatur udara hingga 1,8 °C - 1,72 °C dibandingkan dengan keramik coklat. Dinding ini juga memiliki PET terendah di antara material yang diteliti. Pada siang hari di bawah sinar matahari langsung, dinding hijau memiliki temperatur permukaan dan temperatur udara terendah, dan ketika temperatur udara di sekitarnya meningkat pada malam hari, dinding hijau menunjukkan perbedaan signifikan temperatur udara siang dan malam hari. Material pelapis dengan massa termal tinggi dan emisivitas rendah memiliki temperatur yang lebih rendah. Hal ini juga dapat menghasilkan 2°C pengurangan pada temperatur udara. Penggunaan bahan serupa dengan warna serta tekstur berbeda juga mempengaruhi perubahan temperatur permukaan, material dengan tekstur halus dan warna cerah memiliki temperatur udara lebih rendah dibandingkan dengan material bertekstur kasar dan berwarna gelap. Selain itu penggunaan dinding dengan sistem dinding hijau juga dapat mengurangi dampak fenomena *urban heat island* dan meningkatkan kenyamanan termal. Meskipun diantara sampel yang digunakan, sample dinding hijau adalah sampel paling mahal dibandingkan dengan sampel lainnya (Tabatabaei, S. S., 2023).

Desain *Double Skin Facade* (DSF) merupakan strategi pasif dalam mengatasi iklim tropis. DSF tidak hanya menjadi pelindung solar (*Solar Protection*) tetapi juga untuk meningkatkan ventilasi alami, namun pengaruh ini juga tergantung dengan material yang digunakan. Tidak hanya karakter iklim tropisnya yang harus diperhitungkan, harus memperhatikan letak tapak terhadap garis lintang khatulistiwa. Adanya radiasi matahari yang cukup tinggi menyebabkan pada saat mendesain harus mempertimbangkan pemilihan orientasi terbaik untuk menempatkan DSF. Hal ini disebabkan fasad utara dan selatan menerima radiasi matahari langsung dalam bulan berbeda dalam setahun yang kemudian akan memberikan pengaruh terhadap

perilaku lingkungan dalam ruangan rumah setiap bulannya dalam setahun. Penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang jelas antara hasil yang diperoleh mengenai perilaku lingkungan dalam ruang (the indoor environmental behavior) dan jalur matahari pada berbagai tahapan dalam setahun (Escamilla et al, 2022).

C. Rekayasa Bentuk Bangunan

Pergerakan udara di dalam gedung tidak hanya bergantung pada kecepatan angin eksternal, tetapi juga sebagian besar parameter arsitektur. Sarana arsitektur untuk mencapai tujuan ini mencakup elemen desain konvensional seperti posisi dan orientasi bangunan, bentuk atap, konfigurasi balkon, jenis dan lokasi jendela partisi dan penataan furniture. Perubahan ini dapat mengubah besaran dan pola aliran udara interior. Penelitian terdahulu mengenai penerapan beberapa parameter desain arsitektur terhadap peningkatan tingkat kenyamanan termal dijadikan acuan. Untuk itu perlu dipertimbangkan bahwa semua variabel desain saling bergantung. (Prianto and Depecker, 2003)

Untuk menjaga kenyamanan thermal dan meminimalkan konsumsi energi, bangunan juga harus dirancang sesuai dengan iklim yang ada. Bangunan yang memiliki temperatur udara di atas kenyamanan termal membutuhkan penanganan dengan cara mencari penyebabnya, terutama penyebab yang berasal dari bagian bangunan luar yang tidak mendapatkan perlindungan cukup dari radiasi sinar matahari langsung. Penanganan mempertimbangkan radiasi sinar matahari tidak langsung mengenai dinding bagian luar bangunan, khususnya dinding kaca dan jendela. Untuk meminimalkan perolehan sinar matahari, bangunan harus berorientasi pada utara-selatan, dengan menempatkan sumbu panjangnya ke arah timur-barat. Pada kondisi lokasi tapak tidak memungkinkan maka upaya yang dapat dilakukan ialah melindungi sisi timur-barat bangunan dari penetrasi matahari. Desain yang benar mendorong konsumsi energi bangunan dapat dikurangi dan kenyamanan termal masih dapat diperoleh. (Karyono, T. K., 1998)

KESIMPULAN

Temperatur udara dan kelembaban udara memiliki kaitan kuat terhadap kualitas udara yang dirasakan. Temperatur udara perkotaan yang tinggi umumnya dikaitkan dengan konsumsi energi yang tinggi, kenyamanan termal luar ruangan yang rendah, kualitas udara, dan kesehatan manusia. Faktor musim serta rancangan pada rumah dengan ventilasi alami sangat mempengaruhi perubahan perilaku adaptasi penghuni bangunan. Musim berbeda memiliki karakteristik yang berbeda juga sehingga dibutuhkan rancangan ventilasi dengan mempertimbangkan faktor orientasi, ketinggian, dan lingkungan sekitar bangunan. Pertimbangan ini

bertujuan untuk menjaga kenyamanan termal dan meminimalisir konsumsi energi serta dapat menyesuaikan dengan iklim yang ada.

Penerapan *shading external* dan insulasi pada suatu bangunan dapat membantu kenyamanan termal dalam ruangan. Pada daerah tropis, *shading external* membantu mengurangi suhu dalam ruangan hingga 0,05 °C. Penggunaan insulasi pada daerah tropis dapat mengurangi temperatur udara dalam ruang hingga 0,25 °C. Kombinasi terapan antara *shading external* dan insulasi pada bangunan dapat menurunkan temperatur udara dalam ruang hingga 0,35 °C. Hal ini dapat mengurangi kebutuhan energi yang diperuntukan pada penerapan HVAC guna mengontrol kenyamanan termal tambahan.

Selain itu, terdapat desain *second skin facade* (DSF) yang menjadi salah satu strategi pasif dalam mengatasi iklim tropis. Penggunaan DSF ini tidak hanya mempertimbangkan karakter iklim namun juga memperhitungkan letak tapak terhadap garis lintang khatulistiwa. Tingginya radiasi matahari menyebabkan pada saat mendesain harus mempertimbangkan orientasi terbaik untuk menempatkan kulit ganda pada fasad (*Double skin facade*). Hal ini berhubungan dengan kondisi fasad utara dan selatan menerima matahari langsung pada bulan berbeda setiap tahunnya. Pemilihan material warna cerah dan permukaan halus, serta pemilihan material hijau selain dapat menambah kenyamanan termal, hal ini juga dapat mengurangi dampak fenomena *Urban Heat Island*.

Rekayasa bentuk dalam proses perancangan bangunan dapat membantu meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan. Konfigurasi bentuk seperti pada atap, balkon, maupun lokasi bukaan dapat mempengaruhi pola udara terhadap bangunan. Orientasi bangunan juga dapat membantu dalam pengendalian kualitas termal, dimana pancaran matahari dapat meningkatkan temperatur udara ruangan. Untuk meminimalkan pancaran sinar matahari pada bangunan, orientasi terbaik merupakan orientasi dengan sumbu panjang ke arah timur-barat. Dari hasil rekayasa bentuk bangunan ini, konsumsi energi dapat berkurang berkat kondisi termal yang cukup membuat pengguna nyaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Acero, J. A., Ruefenacht, L. A., Elliot J. Y., & Tan, Y. S. (2022). Measuring and comparing thermal comfort in outdoor and semi-outdoor spaces in tropical Singapore. *Urban Climate*, 42, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101122>
- Alam, M. A., Kumar, R., Yadav, A. S., Arya, R. K., & Singh, V. P. (2023). Recent developments trends in HVAC (heating, ventilation, and air-conditioning) systems: A comprehensive review. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.357>
- Almulhim, A. I., & Cobbinah, P. B. (2023). Can rapid urbanization be sustainable? The case of Saudi

- Arabian cities. *Habitat International*, 139, 102884. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2023.102884>
- Escamilla, A.L., Limones, R.H. and Rodriguez, A.L.L. (2022). Evaluation of environmental comfort in a social housing prototype with bioclimatic double-skin in a tropical climate. *Building and Environment*, 218, 109119. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109119>
- He, L., Zhang, X., & Zhang, X. (2023). Urbanization with the pursuit of efficiency and ecology: Theory and evidence from China. *Environmental Impact Assessment Review*, 103, 107274. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107274>
- Hu, M., Zhang, K., Nguyen, Q., & Tasdizen, T. (2023). The effects of passive design on indoor thermal comfort and energy savings for residential buildings in hot climates: A systematic review. *Urban Climate*, 49, 101466. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101466>
- Irani, F. N., Bakhtiaridoust, M., & Yadegar, M. (2023). A data-driven approach for fault diagnosis in multi-zone HVAC systems: Deep neural bilinear Koopman parity. *Journal of Building Engineering*, 76, 107127. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107127>
- Karyono, T. K. (1998). Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta-Indonesia. *Building and Environment*, 35, 77-90. https://www.academia.edu/32023556/Report_on_thermal_comfort_and_building_energy_studies_in_Jakarta_Indonesia.
- Nematchoua, M. K., Noelson, J. C. V., Saadi, I., Kenfack, H., Andrianaharinjaka, A.-Z. F. R., Ngoumdoum, D. F., Sela, J. B., & Reiter, S. (2020). Application of phase change materials, thermal insulation, and external shading for thermal comfort improvement and cooling energy demand reduction in an office building under different coastal tropical climates. *Solar Energy*, 207, 458-470. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.110>
- Prianto, E. and Depecker, P. (2003). Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach. *Energy and Buildings*, 35, 000890. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00089-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00089-0)
- Putra, I. D. G. A., Nimiya, H., Sopaheluwakan, A., Kubota, T., Lee, H. S., Pradana, R. P., Alfata, M. N. F., Perdana, R. B., Permana, D. S., & Riama, N. F. (2022). Development of climate zones for passive cooling techniques in the hot and humid climate of Indonesia. *Building and Environment*, 226, 109698. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109698>
- Rao, Y., Wu, C., & He, Q. (2023). The antagonistic effect of urban growth pattern and shrinking cities on air quality: Based on the empirical analysis of 174 cities in China. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104752. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104752>
- Su, X., Yuan, Y., Wang, Z., Liu, W., Lan, L., & Lian, Z. (2023). Human thermal comfort in non-uniform thermal environments: A review. *Energy and Built Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.06.012>
- Tabatabaei S. S. & Fayaz R.. (2023). The effect of facade materials and coatings on urban heat island mitigation and outdoor thermal comfort in hot semi-arid climate. *Building and Environment*, 243, 110701. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110701>
- Yue, L. & Zhongqing, C. (2023). Seasonal thermal comfort and adaptive behaviours for the occupants of residential buildings: Shaoxing as a case study. *Energy & Buildings*, 292, 113165. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113165>
- Yadeta, C., Indraganti, M., Tucho, G. T., and Alemayehu, E. (2023). Study on adaptive thermal comfort model and behavioral adaptation in naturally ventilated residential buildings, Jimma Town, Ethiopia. *Energy & Buildings*, 298, 113483. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113483>
- Zhang, X., Yu, S., Ding, X., Li, M., Miao, Y., & Wang, C. (2023). Urban growth and shrinkage with Chinese characteristics: Evidence from Shandong Province, China. *Applied Geography*, 159, 103097. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103097>