

EFEKTIVITAS MATERIAL DINDING DAN ELEMEN PEMBAYANG SELUBUNG PADA KENYAMANAN TERMAL APARTEMEN STUDIO TROPIS

Aris Budhiyanto^{1*}

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Kristen Petra¹
E-mail: arisb@petra.ac.id¹

Abstract

The building envelope plays a crucial role in building energy conservation and indoor thermal comfort. This study aims to evaluate the impact of building envelope design on thermal comfort in an east-facing studio apartment units in Surabaya, focusing on shading elements, the window-to-wall ratio, and building materials. The method used is simulation with the Integrated Environmental Solutions–Visual Environment (IES-VE) software. The simulation was conducted on four apartment models with different envelope designs: Model 1 changed the wall material to one with a lower U-value, Model 2 reduced the window-to-wall ratio, Model 3 added vertical perforated panel shading with large openings, and Model 4 used perforated panels with smaller openings. The results show that Model 1 and Model 4 significantly reduced operative temperature and mean radiant temperature, by 0.83°C and 1.01°C at peak time, respectively. In contrast, Model 3 did not give a significant improvement because the balcony already worked as a horizontal shading element, so the reduction was only 0.04°C. Therefore, using wall materials with a low U-value and applying effective shading elements are proven strategies to improve thermal comfort in apartments located in tropical climates.

Keyword: apartment, building envelope, IES-VE, operative temperature, thermal comfort

Abstrak

Selubung bangunan memegang peranan penting terhadap konservasi energi di dalam bangunan dan kenyamanan termal interior. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh desain selubung bangunan terhadap kenyamanan termal di unit apartemen tipe studio di Surabaya yang berorientasi ke timur, dengan fokus pada elemen pembayang, rasio luas jendela terhadap dinding, dan material bangunan. *Metode penelitian menggunakan simulasi dengan software Integrated Environmental Solutions-Visual Environment (IES-VE).* Simulasi dilakukan pada empat model apartemen dengan variasi desain selubung: Model 1 memodifikasi material dinding dengan nilai U lebih rendah, Model 2 mengurangi rasio jendela terhadap dinding, Model 3 menambahkan elemen pembayang vertikal perforated panel dengan bukaan lebar, sedangkan Model 4 menggunakan perforated panel dengan bukaan kecil. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Model 1 dan Model 4 secara signifikan mampu menurunkan suhu operatif dan suhu radian rata-rata, masing-masing sebesar 0,83°C dan 1,01°C pada kondisi puncak. Sebaliknya, Model 3 tidak menunjukkan perbaikan berarti karena balkon sudah berfungsi sebagai pembayang horizontal, sehingga penurunan hanya 0,04°C. Dengan demikian, pemilihan material dinding dengan nilai U rendah serta penggunaan elemen pembayang yang tepat terbukti efektif dalam meningkatkan kenyamanan termal apartemen di iklim tropis.

Kata Kunci: apartemen, kenyamanan termal, IES-VE, selubung bangunan, suhu operatif

Info Artikel :

Diterima; 2025-08-26

Revisi; 2025-10-10

Disetujui; 2025-10-13

PENDAHULUAN

Sebagian besar waktu manusia, yaitu lebih dari 90%, dihabiskan di dalam ruangan seperti rumah, kantor, dan pusat perbelanjaan. Oleh karena itu, kenyamanan termal

dalam ruang-ruang tersebut menjadi sangat penting untuk mendukung kesehatan dan produktivitas (Al-Yasiri & Szabó, 2021; Hema et al., 2021). Untuk mencapai tingkat kenyamanan ini, bangunan di negara-negara berkembang menggunakan antara 40-50% dari total konsumsi energi global. Diperkirakan bahwa pada tahun 2050, permintaan energi untuk pendinginan akan meningkat sekitar 150%, dengan lonjakan yang jauh lebih signifikan, antara 300% hingga 600%, di negara-negara berkembang (Al-Yasiri & Szabó, 2021). Oleh karena itu, pentingnya desain bangunan yang berkelanjutan menjadi semakin jelas. Desain yang ramah lingkungan dapat mengurangi kebutuhan energi operasional serta dampak negatif terhadap lingkungan, sekaligus menciptakan lingkungan yang sehat dan mendukung produktivitas, serta meningkatkan kualitas ruang bagi penghuninya (Srisamranrungruang & Hiyama, 2020).

Peningkatan kesadaran tentang konservasi energi telah mendorong berbagai penelitian mengenai kinerja selubung bangunan dalam konteks lingkungan (Chi et al., 2017). Selubung bangunan, selain berfungsi sebagai elemen estetika yang mencerminkan citra dan identitas suatu bangunan (Srisamranrungruang & Hiyama, 2021), memainkan peran yang sangat penting dalam melindungi bangunan dari berbagai faktor eksternal serta mengatur transfer panas antara bagian luar dan dalam bangunan (Elghamry & Hassan, 2020). Menurut Chi et al. (2017), selubung bangunan dapat mengatasi hingga 80% masalah lingkungan, yang menunjukkan betapa signifikan kontribusi selubung terhadap efisiensi bangunan serta interaksinya dengan lingkungan sekitar. Dengan demikian, desain dan kualitas selubung bangunan tidak hanya mempengaruhi tampilan dan identitas estetika tetapi juga berperan penting dalam pengelolaan energi dan dampak lingkungan dari suatu bangunan.

Sebagai penghubung vital antara interior dan eksterior suatu bangunan, selubung bangunan memainkan peran yang sangat signifikan terhadap kenyamanan dan kepuasan penghuni. Untuk mencapai keseimbangan antara kenyamanan dan keberlanjutan, teknologi fasad pasif telah berkembang dengan kompleksitas yang semakin (Srisamranrungruang & Hiyama, 2020). Di negara-negara berkembang dengan iklim tropis, strategi desain pasif menjadi pendekatan yang paling sesuai dan efisien secara biaya untuk menciptakan bangunan yang hemat energi sambil menjaga kenyamanan pengguna (Maharani, 2024). Pendekatan ini melibatkan pertimbangan cermat terhadap berbagai faktor seperti orientasi, bentuk, posisi bangunan, dan pemilihan material fasad yang tepat (Jegade & Taki, 2022). Dengan mengintegrasikan strategi desain pasif, dapat dicapai efisiensi energi yang lebih baik tanpa mengorbankan kenyamanan penghuni, menjadikannya solusi yang optimal untuk iklim tropis di negara-negara berkembang.

Strategi desain fasad pasif dapat diimplementasikan melalui penggunaan material reflektif yang terjangkau untuk dinding dan atap, serta sistem penyekatan untuk memisahkan interior dari eksterior bangunan, ditambah dengan pelapis jendela dengan emisi rendah (Al-Yasiri & Szabó, 2021). Kenyamanan termal di dalam bangunan dapat ditingkatkan dengan mengganti material konvensional seperti blok beton berongga dengan alternatif berkelanjutan, seperti blok tanah yang dipadatkan (Hema et al., 2020). Selain itu, penggunaan material lokal dengan nilai U rendah untuk fasad bangunan menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kenyamanan termal. Jegede & Taki (2022) melaporkan bahwa penerapan material lokal pada dinding dan atap dapat mengurangi suhu operatif tahunan sebesar 8%, dan memperpanjang periode kenyamanan termal dari tiga bulan menjadi sembilan bulan setiap tahun. Selain itu, Li et al. (2024) menemukan bahwa penggunaan dinding Trombe dengan phase change material di dekat permukaan dinding dapat

mengurangi periode ketidaknyamanan termal sebesar 7% dibandingkan dengan bangunan yang menggunakan material tradisional. Dalam konteks renovasi gedung apartemen, penerapan sistem selubung bangunan yang dikembangkan menggunakan teknik Building Information Modeling-parametrik dapat meningkatkan rata-rata periode kenyamanan termal sebesar 5,5% (Amoruso et al., 2019). Pendekatan-pendekatan ini menunjukkan bahwa inovasi dalam desain fasad dan material bangunan dapat secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal dan efisiensi energi.

Selain mempertimbangkan jenis material bangunan, rasio jendela terhadap dinding juga merupakan faktor krusial yang mempengaruhi kenyamanan interior (Xie et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa bukaan jendela yang besar dapat meningkatkan ketersediaan cahaya alami, tetapi pada saat yang sama dapat menyebabkan transmisi panas dan radiasi matahari yang berlebihan (Zhai et al., 2019). Hal ini berdampak pada peningkatan konsumsi energi untuk pendinginan dan dapat mengurangi kenyamanan visual (Uribe et al., 2019). Menurut Elghamry & Hassan (2020), menyesuaikan rasio jendela terhadap dinding dalam kisaran 20% hingga 30% serta mempertimbangkan posisi jendela pada dinding dapat mengurangi beban pendinginan tahunan hingga sekitar 30%. Sementara itu, Budhiyanto (2017) melaporkan bahwa peningkatan rasio jendela sebesar 10% dalam bangunan dapat mengakibatkan peningkatan penggunaan energi pendinginan sebesar 5,67%, serta memperluas rentang suhu operatif antara 0,35°C hingga 0,56°C. Dengan demikian, bangunan dengan rasio jendela yang melebihi 20% sering kali tidak dapat mencapai suhu yang nyaman bagi penghuninya. Selain itu, terkait dengan material fasad, penggunaan jendela dengan nilai U yang rendah terbukti lebih efektif daripada sekadar mengatur rasio jendela terhadap dinding dalam mengurangi dampak lingkungan sepanjang siklus hidup bangunan (Elghamry & Hassan, 2020). Ini menunjukkan bahwa meskipun rasio jendela terhadap dinding mempengaruhi efisiensi energi dan kenyamanan, penggunaan material jendela yang efisien secara termal dapat memberikan solusi yang lebih berkelanjutan dan efektif dalam jangka panjang.

Karena rasio jendela terhadap dinding mempengaruhi seberapa banyak panas matahari yang diterima oleh bangunan, penggunaan elemen pembayang eksternal menjadi salah satu strategi paling efektif untuk mengelola panas matahari yang masuk melalui fasad kaca, terutama fasad yang berorientasi timur-barat, dan untuk menjaga kenyamanan termal serta visual di dalam ruangan (Sulastri & Abdillah, 2023; Prayogo & Murti, 2024). Elemen pembayang eksternal dapat berupa sistem tetap atau sistem yang dapat digerakkan untuk merespons kondisi lingkungan secara dinamis (Uribe et al., 2019). Diz-Mellado et al. (2023) mencatat bahwa penggunaan elemen pembayang di bangunan dapat meningkatkan jumlah jam kenyamanan termal hingga 27% dan mengurangi beban pendinginan sebesar 31%. Salah satu strategi desain pasif yang semakin populer adalah penggunaan fasad kulit ganda, yang bertujuan untuk mengoptimalkan jumlah cahaya dan panas yang masuk ke dalam bangunan (Arinta et al., 2021). Dalam konteks ini, penggunaan perforated panel sebagai elemen pembayang eksternal menjadi tren desain yang banyak diterapkan, tidak hanya karena nilai estetikanya tetapi juga karena fungsionalitasnya (Cardoso Ziebell et al., 2017). Perforated panel tidak hanya melindungi bangunan dari beban panas yang berlebihan tetapi juga memungkinkan aliran udara yang baik ke dalam bangunan. Srisamranrungruang & Hiyama (2020) menemukan bahwa penggunaan perforated panel dengan persentase 10% pada sisi selatan dan 30% pada sisi barat dapat mengurangi beban panas sepanjang tahun. Sharma et al. (2022) menambahkan bahwa dibandingkan dengan sistem selubung ganda konvensional, perforated panel dapat mengurangi hampir 51,5%

beban panas pada bangunan, berkat kemampuannya dalam menciptakan efek stack yang lebih baik di zona ruang udara. Dengan demikian, perforated panel menawarkan solusi desain yang efektif untuk mengelola panas matahari sambil meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal di dalam bangunan.

Meskipun terdapat banyak penelitian yang mengeksplorasi berbagai strategi desain selubung bangunan secara pasif, masih sangat sedikit studi yang secara khusus meneliti desain dan material selubung bangunan, termasuk penerapan elemen pembayang dengan perforated panel terhadap kualitas lingkungan ruang dalam (Elzeyadi & Batool, 2018). Sebagian besar penelitian yang ada lebih banyak fokus pada desain selubung bangunan untuk gedung perkantoran, sementara studi yang membahas desain selubung untuk apartemen sangat terbatas. Menurut Christianty et al. (2022), terdapat perbedaan signifikan dalam desain fasad antara gedung perkantoran dan apartemen. Apartemen, khususnya tipe studio, memiliki keterbatasan luas unit sehingga proporsi rasio selubung bangunan relatif besar dibandingkan volume ruang. Apartemen ini juga hanya memiliki satu ruang yang berfungsi sebagai ruang tidur, ruang duduk dan pantry. Hal ini berdampak pada distribusi panas yang diterima oleh selubung bangunan terpusat pada ruang tunggal tersebut. Alfata et al. (2015) menekankan bahwa mayoritas desain apartemen di Indonesia belum berorientasi terhadap iklim tropis, yang dibuktikan dengan penggunaan AC di setiap ruangan. Wingrum & Rochana (2024) menyarankan aplikasi secondary-skin di fasad bangunan apartemen, namun tidak menjelaskan dampaknya terhadap kondisi termal unit apartemen secara kuantitatif. Karena itu, Hema et al. (2021) menyarankan untuk melakukan penelitian mengenai desain selubung bangunan yang dapat mengatasi masalah ketidaknyamanan termal di apartemen, khususnya di iklim tropis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas strategi desain pasif selubung bangunan dalam meningkatkan kenyamanan termal di apartemen, serta untuk mengidentifikasi solusi yang dapat meningkatkan kualitas lingkungan ruang dalam bagi penghuninya.

Kenyamanan Termal

Menurut Fanger, kenyamanan termal penghuni dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu suhu udara dalam ruangan, kelembapan relatif, suhu radian rata-rata, kecepatan udara, pakaian pribadi, dan tingkat aktivitas (Al-Yasiri & Szabó, 2021). Pernyataan ini menekankan bagaimana selubung bangunan berkontribusi terhadap kenyamanan termal di dalam ruangan, yang tercermin dalam suhu operatif. Suhu operatif (OT, °C) menggambarkan suhu yang dirasakan oleh penghuni di dalam bangunan dan merupakan nilai rata-rata dari suhu udara dalam ruangan (T_a) dan suhu radian rata-rata (T_r); sering disebut sebagai suhu kenyamanan. Suhu operatif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1):

$$OT = \frac{T_a + T_r}{2} \quad (1)$$

Pengukuran suhu operatif ini memberikan gambaran komprehensif tentang bagaimana suhu dirasakan secara keseluruhan di dalam ruang, mencerminkan pengaruh langsung dari desain selubung bangunan terhadap kenyamanan termal penghuni.

Sedangkan suhu radian rata-rata menggambarkan pertukaran radiasi antara penghuni dan lingkungan sekitarnya. Ini merupakan komponen penting dalam penilaian kenyamanan termal, karena suhu radian rata-rata mempengaruhi bagaimana panas radiasi dari permukaan sekitar mempengaruhi rasa nyaman

seseorang di dalam ruangan. Suhu radian rata-rata dapat dihitung dengan berbagai metode, salah satu yang paling sederhana adalah menggunakan Persamaan (2):

$$T_r = \frac{T_1 A_1 + T_2 A_2 + \dots + T_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2)$$

di mana T_1 , T_2 , dan T_n adalah suhu permukaan dari permukaan 1, 2, dan n di dalam ruangan ($^{\circ}\text{C}$), masing-masing. A_1 , A_2 , dan A_n adalah area masing-masing permukaan di dalam ruangan (m^2).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi metode simulasi untuk mengevaluasi desain dan performa selubung bangunan. Software simulasi memainkan peran penting dalam mendukung berbagai tahap, mulai dari pra-desain, desain, hingga evaluasi akhir (Srisamranrungruang & Hiyama, 2020). Penggunaan software simulasi banyak dilakukan untuk menganalisa desain selubung bangunan dan performanya terhadap kualitas ruang dalam maupun ruang luar (Al-Masrani et al., 2018). Di antara berbagai software simulasi yang tersedia, salah satu alat yang digunakan untuk menganalisis kinerja bangunan, termasuk selubung bangunan, adalah Integrated Environmental Solutions-Visual Environment (IES-VE). IES-VE adalah software yang dikembangkan oleh Integrated Environmental Solutions dan dirancang khusus untuk analisis energi bangunan serta desain berkelanjutan. Software ini dilengkapi dengan berbagai alat analisis bawaan yang mempermudah proses pemodelan dan analisis performa bangunan, baik untuk evaluasi retrospektif maupun selama tahap desain proyek konstruksi. IES-VE menggunakan graphical user interface (GUI) atau sering disebut sebagai "kotak hitam", yang memungkinkan pengguna untuk menghasilkan hasil grafis berdasarkan serangkaian input yang ditentukan. Fitur-fitur ini memberikan kemudahan dalam proses pemodelan geometris dan mempercepat pembuatan hasil analisis (Bhikhoo et al., 2017).

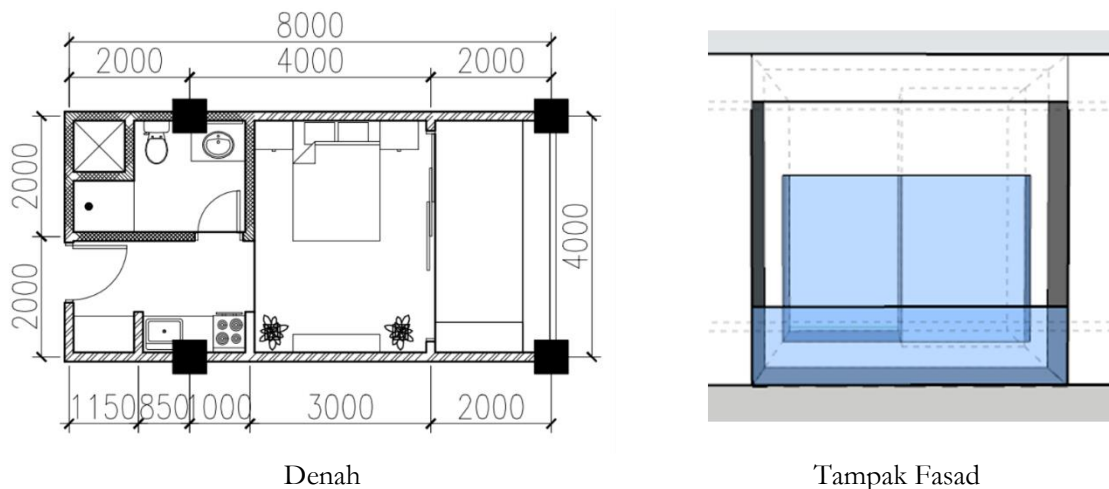
Penggunaan software IES-VE memungkinkan analisis yang mendetail dan akurat dalam mengevaluasi desain selubung bangunan dan dampaknya terhadap kenyamanan termal dan efisiensi energi (Nasaruddin et al., 2018). Perbandingan antara data pengukuran lapangan dan hasil simulasi menggunakan IES-VE menunjukkan bahwa software ini memiliki tingkat akurasi yang dapat dipertanggungjawabkan, dengan perbedaan berkisar antara 10-20% (Oleiwi et al., 2019). Al-janabi et al. (2019) melakukan analisis dan perbandingan antara kemampuan software EnergyPlus, yang dikenal luas untuk analisis performa bangunan, dan IES-VE dalam mensimulasikan performa bangunan serta konsumsi energi. Hasil analisis tersebut mengungkapkan bahwa perbedaan antara kedua perangkat lunak ini kurang dari 10%, menunjukkan bahwa IES-VE memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi. Kemudahan interface, efisiensi, serta kemampuan untuk mensimulasikan model pada berbagai skala dengan tingkat akurasi yang tinggi, membuat IES-VE menjadi pilihan yang ideal untuk tujuan studi ini.

Objek simulasi dalam penelitian ini adalah sebuah unit studio apartemen yang terletak di Surabaya, dengan orientasi timur, yang banyak menerima radiasi matahari. Apartemen ini memiliki luas 32 m^2 dan dilengkapi dengan balkon berukuran 2x4 m, serta area tidur, dapur, dan kamar mandi (Gambar 1). Unit apartemen tersebut dimodelkan dengan menggunakan software SketchUp dan disimulasikan menggunakan software IES-VE untuk mengetahui kondisi suhu radian rata-rata dan suhu operatif di dalam unit. Dalam model simulasi IES-VE, elemen dinding memiliki nilai U sebesar 0,551 $\text{W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, sedangkan elemen jendela kaca

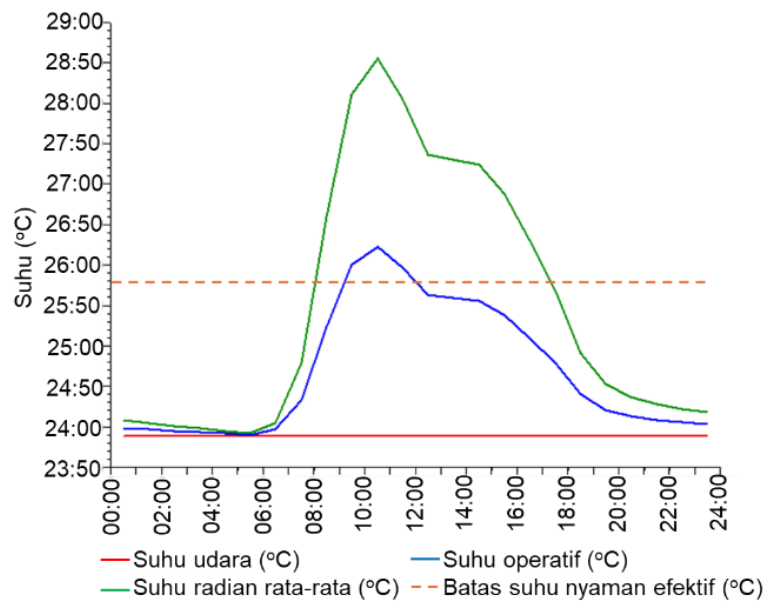
memiliki nilai U sebesar $1,6 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Desain selubung bangunan ini akan berfungsi sebagai model Baseline yang digunakan sebagai referensi untuk menganalisis kinerja termal dan efisiensi energi dari desain selubung yang diterapkan pada apartemen.

Simulasi awal dilakukan untuk mengevaluasi kondisi kenyamanan termal dari model baseline, dengan fokus pada parameter suhu operatif. Untuk menyederhanakan simulasi, unit apartemen diasumsikan dalam kondisi penghawaan selama 24 jam dengan suhu udara $23,9^\circ\text{C}$ dan kelembaban relatif 50%, sesuai dengan standar hunian. Hasil dari simulasi awal menunjukkan bahwa perolehan panas tertinggi dalam setahun pada unit apartemen terjadi pada tanggal 24 Maret pukul 10:30, dengan suhu radian rata-rata mencapai $28,56^\circ\text{C}$ dan suhu operatif $26,22^\circ\text{C}$ (Gambar 2).

Menurut Cetta et al. (2023), suhu efektif untuk kenyamanan termal, berdasarkan Standar Nasional Indonesia, berkisar antara $22,8^\circ\text{C}$ hingga $25,8^\circ\text{C}$. Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 2, suhu operatif melebihi rentang suhu efektif kenyamanan antara pukul 09:20 hingga 12:00. Pada pukul 09:20, suhu radian rata-rata mencapai $27,67^\circ\text{C}$, dengan suhu operatif sebesar $25,82^\circ\text{C}$. Suhu radian rata-rata dan suhu operatif mencapai puncaknya pada pukul 10:30, dengan suhu radian rata-rata sebesar $28,56^\circ\text{C}$ dan suhu operatif $26,22^\circ\text{C}$. Setelah pukul 12:00, suhu operatif mulai turun kembali ke dalam zona kenyamanan, mencapai $22,78^\circ\text{C}$ pada pukul 12:00 saat suhu radian rata-rata sebesar $22,72^\circ\text{C}$. Hasil ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk strategi desain yang dapat mengurangi beban panas dan meningkatkan kenyamanan termal di apartemen.

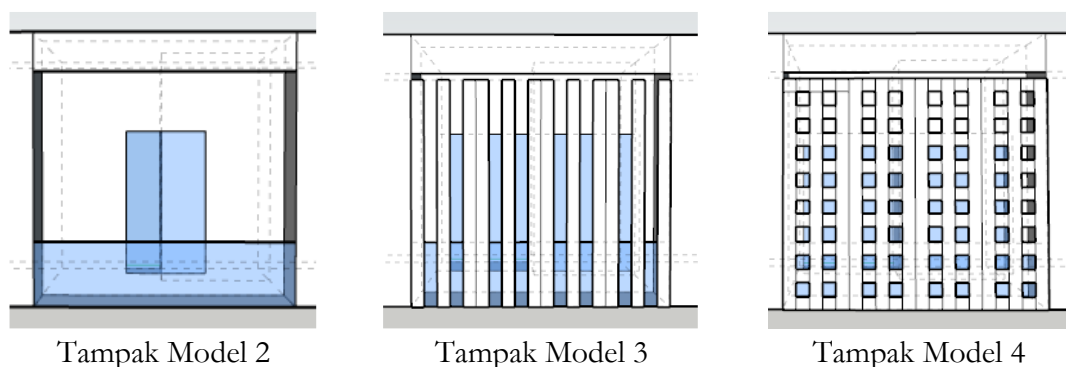


Gambar 1. Denah dan Model Unit Studio Apartemen
Sumber: Penulis, 2025



Gambar 2. Suhu Udara, Suhu Radian Rata-Rata dan Suhu Operatif Model Baseline.
Sumber: Penulis, 2025

Untuk menurunkan suhu operatif dan suhu radian rata-rata, beberapa alternatif desain selubung bangunan pada unit apartemen telah dibuat dengan modifikasi pada material, rasio jendela terhadap dinding, dan desain alat pembayangan. Model 1 mengubah material dinding selubung bangunan menjadi material dengan nilai U sebesar $0,2599 \text{ W/m}^2\text{°C}$, yang 50% lebih rendah dibandingkan material dinding pada model baseline. Namun, material kaca pada model ini tetap tidak mengalami perubahan. Model 2 fokus pada perubahan rasio jendela terhadap dinding. Dimensi bukaan jendela awalnya adalah $2,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$, yang menghasilkan rasio jendela terhadap dinding sebesar 78%. Pada model ini, dimensi bukaan jendela diubah menjadi $2,5 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$, sehingga rasio jendela terhadap dinding menjadi 26%. Model 3 dan Model 4 berfokus pada penambahan elemen pembayangan vertikal berupa perforated panel. Pada Model 3, elemen pembayangan perforated panel memiliki bukaan yang besar, sedangkan pada Model 4, desain perforated panel diubah dengan mengurangi ukuran bukaan panel menjadi lebih kecil (Gambar 3). Untuk elemen fasad perforated, nilai U tidak dihitung karena dalam simulasi IES-VE material pembayang tidak memiliki nilai U . Modifikasi ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak dari perubahan pada masing-masing elemen desain terhadap suhu operatif dan kenyamanan termal di dalam unit apartemen. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat ditemukan solusi yang efektif untuk meningkatkan kenyamanan termal sekaligus mengurangi beban pendinginan di apartemen.



Gambar 3. Tampak Fasad Model 2, 3 dan 4.

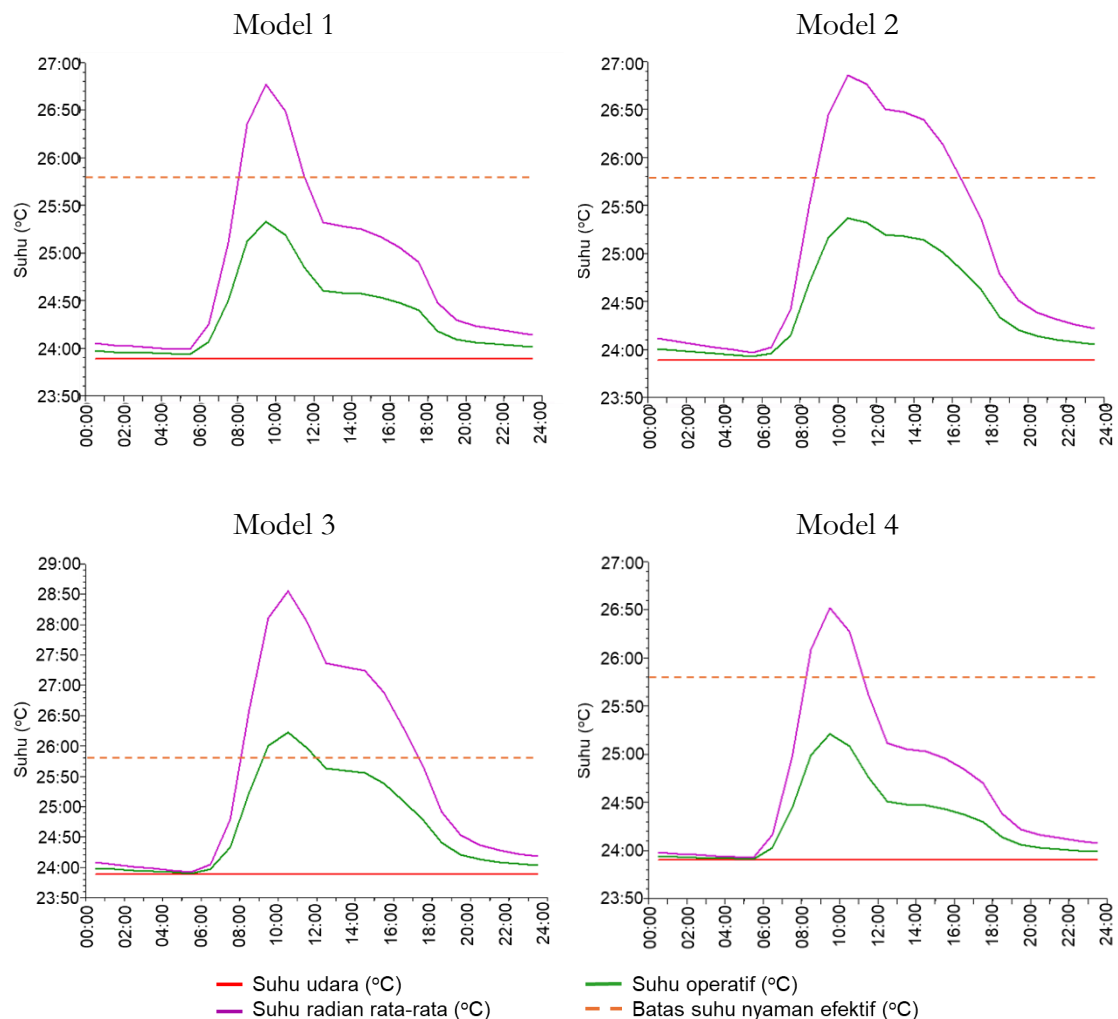
Sumber: Penulis, 2025

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi untuk Model 1-4 ditunjukkan di Gambar 4. Untuk Model 1, perubahan material dinding menjadi material dengan nilai U yang lebih rendah memberikan dampak positif terhadap kenyamanan termal. Dengan modifikasi ini, suhu operatif sepanjang hari tidak melebihi batas suhu nyaman yang efektif. Pada pagi hari, suhu operatif berada dalam rentang 23,9°C hingga 24°C. Setelah pukul 06:00, suhu radian rata-rata dan suhu operatif mulai meningkat, hingga suhu operatif mencapai titik tertinggi, sebesar 25,39°C pada pukul 09:30, ketika suhu radian rata-rata mencapai 26,77°C. Waktu di mana suhu radian rata-rata dan suhu operatif tersebut mencapai titik tertinggi disebut sebagai waktu puncak. Dibandingkan dengan waktu puncak pada Baseline, waktu puncak pada Model 1 dicapai satu jam lebih awal. Setelah mencapai titik tertinggi tersebut, suhu operatif mulai menurun, dengan suhu mencapai 24,7°C pada pukul 12:00 dan 24,29°C pada pukul 18:00.

Hasil simulasi Model 2 menunjukkan bahwa penurunan rasio jendela terhadap dinding dari 78% menjadi 26% memiliki dampak positif terhadap kenyamanan termal. Dengan perubahan ini, suhu operatif tetap berada di dalam batas suhu nyaman efektif sepanjang hari. Pada pagi hari, suhu operatif berkisar antara 23,9°C hingga 24°C. Setelah pukul 07:00, suhu operatif mulai meningkat dan titik puncak di 25,37°C pada pukul 10:30, ketika suhu radian rata-rata mencapai 26,85°C. Setelah mencapai waktu puncak tersebut, suhu operatif mulai menurun, dengan suhu mencapai 25,26°C pada pukul 12:00 dan 24,46°C pada pukul 18:00.

Pada Model 3, digunakan elemen pembayang vertikal perforated panel dengan bukaan yang besar. Hasil simulasi menunjukkan suhu operatif dan suhu radian rata-rata pada Model 3 hampir identik dengan kondisi pada model Baseline. Pada pagi hari, suhu operatif berada dalam rentang 23,9°C hingga 24°C. Setelah pukul 06:00, suhu mulai meningkat dan mencapai puncaknya pada 26,18°C pada pukul 10:30, sementara suhu radian rata-rata mencapai 28,47°C. Setelah pukul 10:30, suhu operatif mulai menurun, dengan suhu mencapai 25,78°C pada pukul 12:00 dan 24,54°C pada pukul 18:00. Hal ini menunjukkan bahwa desain elemen pembayang dengan bukaan besar yang digunakan pada Model 3 tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap kenyamanan termal.



Gambar 4. Suhu Udara, Suhu Radian Rata-Rata dan Suhu Operatif Model 1-4.

Sumber: Penulis, 2025

Berbeda dengan Model 3, elemen pembayang perforated panel di Model 4 dimodifikasi dengan bukaan yang lebih kecil. Hal ini berdampak positif pada menurunnya suhu radian rata-rata dan suhu operatif di dalam unit apartemen. Hasil simulasi Model 4 menunjukkan suhu operatif dan suhu radian rata-rata pada Model 4 lebih rendah dibandingkan dengan kondisi pada model *Baseline*. Pada pagi hari, suhu operatif berada dalam kisaran 23,9°C hingga 24°C. Setelah pukul 06:30, suhu operatif mulai meningkat, mencapai puncaknya sebesar 25,21°C pada pukul 09:30, sementara suhu radian rata-rata mencapai 26,52°C. Setelah waktu tersebut, suhu operatif mulai menurun, mencapai 24,66°C pada pukul 12:00 dan 24,22°C pada pukul 18:00. Sama halnya dengan Model 1, pada Model 4 waktu puncak suhu radian rata-rata dan suhu operatif mencapai titik tertinggi dicapai satu jam lebih awal dari *Baseline*. Dengan demikian, penggunaan perforated panel dengan bukaan kecil pada elemen pembayang mampu secara signifikan meningkatkan kenyamanan termal.

Hasil simulasi mengindikasikan bahwa modifikasi desain selubung bangunan dapat secara signifikan mempengaruhi penurunan suhu radian rata-rata dan suhu operatif, yang berdampak pada kenyamanan termal pengguna.

Tabel 1 memperlihatkan perbandingan suhu operatif pada waktu puncak suhu tertinggi antara Model 1-4 dan model *Baseline*, sedangkan Gambar 5 dan Tabel 2 menunjukkan suhu operatif Model 1-4 dibandingkan dengan *Baseline*. Dapat dilihat

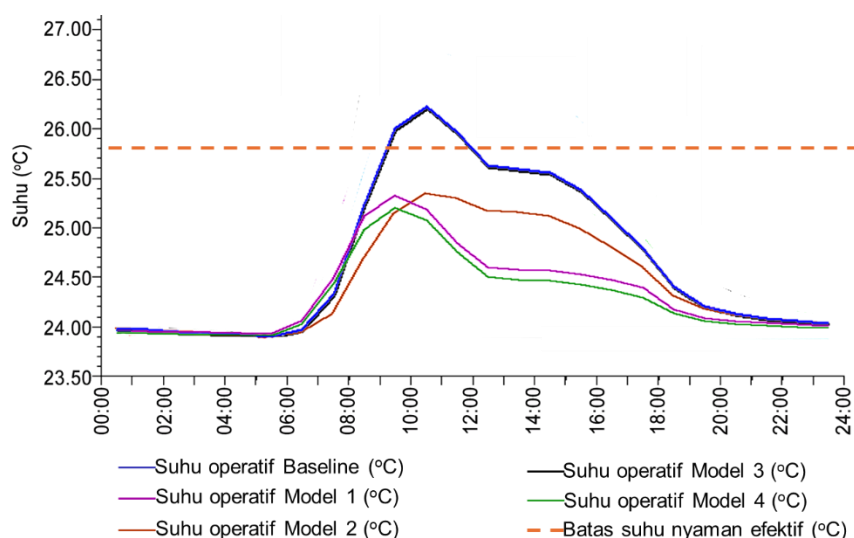
bahwa suhu operatif Model 1, 2, dan 4 jauh lebih rendah daripada *Baseline*, dengan suhu operatif Model 4 lebih rendah dari model lainnya mulai pukul 10:00 hingga malam hari, sedangkan Model 3 dan *Baseline* tidak jauh berbeda.

Model 4, yang menggunakan perforated panel dengan bukaan kecil sebagai elemen pembayang vertikal, berhasil menurunkan suhu operatif sebesar 1,01°C dibandingkan dengan waktu puncak pada model *Baseline*. Sebaliknya, desain perforated panel vertikal dengan bukaan besar hanya memberikan pengurangan suhu operatif sebesar 0,04°C, menjadikannya kurang efektif dalam meningkatkan kenyamanan termal. Hal ini disebabkan oleh adanya balkon pada unit apartemen, yang secara tidak langsung berfungsi sebagai elemen pembayang horizontal. Temuan ini sejalan dengan pendapat Alfata et al. (2015), Bhikhoo et al. (2017) dan Izadyar et al. (2020), yang menyatakan bahwa balkon memiliki dampak signifikan terhadap kenyamanan termal di iklim tropis.

Namun, meskipun elemen pembayang pada balkon dapat mengurangi suhu operatif, penting untuk mempertimbangkan kenyamanan visual pengguna. Penggunaan perforated panel dengan bukaan kecil dapat menghalangi pemandangan dari dalam bangunan, yang mungkin mempengaruhi kualitas visual dan kenyamanan pengguna (Kisnarini et al., 2018). Oleh karena itu, desain elemen pembayang perlu menyeimbangkan antara efektivitas termal dan kualitas visual untuk mencapai solusi yang optimal.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Simulasi pada Waktu Puncak

Model	Waktu puncak	Suhu operatif (°C)	Selisih suhu operatif (°C)
Baseline	10.30	26.22	-
1	09.30	26.77	0.83
2	10.30	26.85	0.40
3	10.30	26.18	0.04
4	09.30	26.52	1.01



Gambar 5. Suhu Operatif Model 1-4 dan *Baseline*

Sumber: Penulis, 2025

Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi pada Pagi, Siang dan Sore Hari

Model	Suhu operatif pukul 08.00 (°C)	Suhu operatif pukul 12.00 (°C)	Suhu operatif pukul 18.00 (°C)
Baseline	24.81	25.81	24.62
1	24.78	24.7	24.29
2	24.43	25.26	24.46
3	24.78	25.78	24.54
4	24.69	24.66	24.22

Pemilihan material bangunan juga memainkan peran penting dalam mendukung kenyamanan termal di dalam bangunan. Penurunan nilai U pada dinding di Model 1 menghasilkan pengurangan suhu operatif sebesar 0,83°C pada titik suhu tertinggi. Temuan ini mendukung pernyataan Jegede & Taki (2022), yang menekankan bahwa pemilihan material bangunan di iklim tropis sangat krusial karena secara langsung mempengaruhi kenyamanan termal penghuninya. Material dengan nilai U yang lebih rendah dapat mengurangi transfer panas melalui dinding, sehingga membantu menjaga suhu operatif dalam rentang yang nyaman dan meningkatkan efisiensi energi bangunan secara keseluruhan.

Selain suhu radian rata-rata dan suhu operatif di Model 1 dan 4 lebih rendah daripada Baseline, waktu puncak di mana suhu radian rata-rata dan suhu operatif mencapai titik tertinggi Model 1 dan 4 dicapai satu jam lebih awal daripada Baseline dan model lainnya. Hal ini menunjukkan kedua model tersebut melakukan pendinginan lebih cepat daripada model lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menganalisis bagaimana penerapan strategi desain pasif selubung bangunan mempengaruhi kenyamanan termal di unit apartemen. Fokus utama terletak pada strategi menambahkan elemen pembayang, mengurangi rasio luas jendela terhadap dinding, dan mengubah material bangunan. Untuk mengetahui bagaimana dampak berbagai strategi terhadap tersebut terhadap kenyamanan termal unit apartemen, yang diukur berdasarkan suhu radian rata-rata dan suhu operatif, dilakukan simulasi menggunakan software IES-VE. Simulasi dilakukan pada empat model apartemen dengan variasi desain selubung: Model 1, di mana dilakukan modifikasi dinding dengan nilai U rendah, Model 2, di mana rasio jendela terhadap dinding dikurangi, Model 3, di mana ditambahkan elemen pembayang vertikal perforated panel pada fasad bangunan, dan Model 4, di mana dilakukan modifikasi elemen pembayang perforated panel dengan bukaan yang lebih kecil.

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis desain selubung bangunan masing-masing model dibandingkan dengan model Baseline, beberapa kesimpulan dapat diambil:

1. Model 4 menunjukkan bahwa penggunaan perforated panel dengan bukaan kecil secara signifikan menurunkan suhu operatif dan suhu radian rata-rata, meningkatkan kenyamanan termal pengguna. Pengurangan suhu operatif sebesar 1,01°C dibandingkan dengan model baseline mengindikasikan efektivitas desain ini dalam mengurangi beban panas matahari dan menjaga suhu dalam rentang nyaman.
2. Model 3 menunjukkan perforated panel memiliki bukaan berukuran besar, kurang efektif dalam meningkatkan kenyamanan termal dibandingkan dengan model baseline. Selisih suhu operatif yang hanya 0,04°C menunjukkan bahwa perforated panel dengan bukaan besar tidak memberikan dampak signifikan pada suhu operatif. Hal ini dimungkinkan karena adanya balkon yang sudah berfungsi sebagai elemen pembayang horisontal.

3. Walaupun elemen pembayang dapat mengurangi suhu operatif, perlu dipertimbangkan dampaknya terhadap kenyamanan visual pengguna. Perforated panel dengan bukaan kecil dapat menghalangi pemandangan dari dalam bangunan, yang bisa mempengaruhi kualitas visual dan pengalaman pengguna.
4. Menurunkan nilai U dinding pada Model 1 menghasilkan pengurangan suhu operatif sebesar 0,83°C pada waktu puncak, menegaskan pentingnya pemilihan material bangunan untuk kenyamanan termal, terutama di iklim tropis. Material dengan nilai U lebih rendah membantu mengurangi transfer panas dan menjaga suhu ruangan tetap dalam rentang yang nyaman.

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis desain selubung bangunan, beberapa saran yang dapat diberikan terkait dengan desain selubung bangunan antara lain:

1. Melakukan evaluasi berbagai desain elemen pembayang yang mungkin menawarkan solusi optimal dalam mengurangi suhu radian rata-rata dan suhu operatif, termasuk kombinasi dengan elemen lain seperti shading devices dan material reflektif.
2. Memilih material dinding dengan nilai U rendah untuk meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi kebutuhan energi pendinginan. Material dengan isolasi yang lebih baik akan memberikan manfaat jangka panjang dalam pengendalian suhu dan kenyamanan pengguna.
3. Selain nilai U, faktor-faktor lain seperti thermal mass dan ventilasi alami dalam pemilihan material juga perlu dipertimbangkan untuk mencapai performa termal yang optimal.

Penelitian selanjutnya dapat diarahkan untuk mengeksplorasi dampak dari berbagai jenis material terhadap kenyamanan termal dalam berbagai tipe bangunan, dengan penekanan khusus pada apartemen yang memiliki berbagai fitur desain. Hal ini dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai bagaimana material tertentu dapat memengaruhi suhu dan kenyamanan di dalam ruangan apartemen yang berbeda. Selain itu, penelitian ini belum mencakup aspek-aspek terkait kenyamanan visual dan pencahayaan dalam unit-unit apartemen. Oleh karena itu, diperlukan studi lebih lanjut yang mempertimbangkan analisis mengenai penerapan elemen pembayang yang dapat berfungsi untuk meningkatkan baik kenyamanan termal maupun visual. Penelitian tersebut dapat membantu dalam merancang solusi yang tidak hanya memperbaiki suhu dalam ruangan tetapi juga meningkatkan kualitas pencahayaan alami, sehingga menciptakan lingkungan tinggal yang lebih nyaman dan efisien secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi mendalam kepada Titania Dea atas kontribusi berharga dalam pengumpulan data yang sangat mendukung kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfata, M. N. F., Hirata, N., Kubota, T., Nugroho, A. M., Uno, T., I Gusti Ngurah Antaryama, I. G. N., Ekasiwi, S. N. (2015). Thermal comfort in naturally ventilated apartments in Surabaya, Indonesia. *Procedia Engineering*, 125, 729–736. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.1093>
- Al-janabi, A., Kavgic, M., Mohammadzadeh, A., & Azzouz, A. (2019). Comparison of EnergyPlus and IES to model a complex university building using three scenarios: Free-floating, ideal air load system, and detailed. *Journal of Building Engineering*, 22, 262–280. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.12.022>

- Al-Masrani, S. M., Al-Obaidi, K. M., Zalin, N. A., & Aida Isma, M. I. (2018). Design optimisation of solar shading systems for tropical office buildings: Challenges and future trends. *Solar Energy*, 170, 849–872. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.047>
- Al-Yasiri, Q., & Szabó, M. (2021). Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis. *Journal of Building Engineering*, 36, 102122. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102122>
- Amoruso, F. M., Dietrich, U., & Schuetze, T. (2019). Indoor thermal comfort improvement through the integrated BIM-parametric workflow-based sustainable renovation of an exemplary apartment in Seoul, Korea. *Sustainability (Switzerland)*, 11(14), 3950. <https://doi.org/10.3390/su11143950>
- Arinta, R. T., Fikri, M., & Pradewa, P. (2021). Simulasi Ecotect pada pencahayaan di dalam ruangan dengan menggunakan roster. *Jurnal Arsitektur Kolaborasi*, 1(1), 28–35. <https://doi.org/10.54325/kolaborasi.v1i1.4>
- Bhikhoo, N., Hashemi, A., & Cruickshank, H. (2017). Improving thermal comfort of low-income housing in Thailand through passive design strategies. *Sustainability (Switzerland)*, 9(8), 1440. <https://doi.org/10.3390/su9081440>
- Budhiyanto, A. (2017). The Effect of The Window-to-Wall Ratio on Cooling Energy Usage and Comfort Temperature. *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 44(2), 189–194. <https://doi.org/10.9744/dimensi.44.2.189-194>
- Cardoso Ziebell, A., Ravi, L., Pedomallu, T., & Singh, V. K. (2017). Perforated Facades Design Approach to Sustainable Building for Visual and Thermal Comfort. *Journal of Energy Research and Environmental Technology (JERET)*, 4(1), 85–89. <http://www.krishisanskriti.org/Publication.html>
- Cetta, E. M., Surjanto, A., Arman, M., & Hedi. (2023). Analisis Kenyamanan Berbasis Termal Pada Ruang Baca Perpustakaan. *Prosiding The 14th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 164–168.
- Chi, D. A., Moreno, D., & Navarro, J. (2017). Design optimisation of perforated solar façades in order to balance daylighting with thermal performance. *Building and Environment*, 125, 383–400. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.007>
- Christianty, C., Yudo, C. E., Damayanti, R., & Tulistyanoro, L. (2022). Studi Evaluasi dan Potensi Sense of Place pada Balkon Apartemen Metropolis Surabaya. *ACESA Advance in Civil Engineering and Sustainable Architecture*, 4(2), 80–90.
- Diz-Mellado, E., López-Cabeza, V. P., Roa-Fernández, J., Rivera-Gómez, C., & Galán-Marín, C. (2023). Energy-saving and thermal comfort potential of vernacular urban block porosity shading. *Sustainable Cities and Society*, 89, 104325. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104325>
- Elghamry, R., & Hassan, H. (2020). Impact of window parameters on the building envelope on the thermal comfort, energy consumption and cost and environment. *International Journal of Ventilation*, 19(4), 233–259. <https://doi.org/10.1080/14733315.2019.1665784>
- Elzeyadi, I., & Batool, A. (2018). Learning from the Vernacular: The Impacts of Massive Perforated Screen Shades on Building Energy Savings and Thermal Comfort in Two Different Hot Climate Zones. *2018 ASHRAE Winter Conference-Papers*, 1–8.
- Hema, C., Messan, A., Lawane, A., Soro, D., Nshimiyimana, P., & van Moeseke, G. (2021). Improving the thermal comfort in hot region through the design of walls made of compressed earth blocks: An experimental investigation. *Journal of Building Engineering*, 38, 102148. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102148>
- Hema, C., Messan, A., Lawane, A., & Van Moeseke, G. (2020). Impact of the Design of Walls Made of Compressed Earth Blocks on the Thermal Comfort of

- Housing in Hot Climate. *Buildings*, 10(9), 157. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS10090157>
- Izadyar, N., Miller, W., Rismanchi, B., & Garcia-Hansen, V. (2020). A numerical investigation of balcony geometry impact on single-sided natural ventilation and thermal comfort. *Building and Environment*, 177, 106847. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106847>
- Jegede, O. E., & Taki, A. (2022). Optimization of building envelopes using indigenous materials to achieve thermal comfort and affordable housing in Abuja, Nigeria. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 40(2), 219–247. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-01-2021-0009>
- Kisnarini, R., Krisdianto, J., & Indrawan, I. A. (2018). Contribution of Balcony on Thermal Comfort : Rusunawa Surabaya. *Open House International*, 43(3), 14–21.
- Li, J., Zhang, Y., Zhu, Z., Zhu, J., Luo, J., Peng, F., & Sun, X. (2024). Thermal comfort in a building with Trombe wall integrated with phase change materials in hot summer and cold winter region without air conditioning. *Energy and Built Environment*, 5(1), 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.07.007>
- Maharani, M. R. (2024). Penerapan prinsip arsitektur hijau pada Microlibrary Warak Kayu Semarang. *Jurnal Arsitektur Kolaborasi*, 4(1), 49–55. <https://doi.org/10.54325/kolaborasi.v4i1.62>
- Nasaruddin, A. N., Tuan, T. B., Tahir, M. M., & Ito, T. (2018). Preliminary thermal simulation analysis of building via IES<VE> software. *Proceedings of Mechanical Engineering Research Day 2018*, 95–97. <https://www.researchgate.net/publication/328900297>
- Olewi, M. Q., Mohamed, M. F., Sulaiman, M. K. A. M., Che-Ani, A. I., & Raman, S. N. (2019). Thermal Environment Accuracy Investigation of Integrated Environmental Solutions-Virtual Environment (IES-VE) Software for Double-Story House Simulation in Malaysia. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(11), 3659–3665. <https://doi.org/10.36478/JEASCI.2019.3659.3665>
- Prayogo, A., & Murti, F. (2024). Kajian penerapan prinsip arsitektur bioklimatik menurut Ken Yeang dalam perancangan fasilitas agroindustri jagung. *Jurnal Arsitektur Kolaborasi*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.54325/kolaborasi.v4i1.53>
- Sharma, M. K., Preet, S., Mathur, J., Chowdhury, A., & Mathur, S. (2022). Thermal performance analysis of naturally ventilated and perforated sheet based double skin facade system for hot summer conditions. *International Journal of Ventilation*, 21(4), 263–283. <https://doi.org/10.1080/14733315.2021.1901003>
- Srisamranrungruang, T., & Hiyama, K. (2020). Balancing of natural ventilation, daylight, thermal effect for a building with double-skin perforated facade (DSPF). *Energy and Buildings*, 210, 109765. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109765>
- Srisamranrungruang, T., & Hiyama, K. (2021). Correlations between building performances and design parameters of double-skin facade utilizing perforated screen. *Japan Architectural Review*, 4(3), 533–544. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12222>
- Sulastri, H., & Abdillah, W. (2023). Perancangan perpustakaan dan science center di Kota Medan dengan pendekatan arsitektur tropis. *Jurnal Arsitektur Kolaborasi*, 3(2), 107–117. <https://doi.org/10.54325/kolaborasi.v3i2.46>
- Uribe, D., Vera, S., Bustamante, W., McNeil, A., & Flamant, G. (2019). Impact of different control strategies of perforated curved louvers on the visual comfort and energy consumption of office buildings in different climates. *Solar Energy*, 190, 495–510. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.027>
- Wingrum, H. R., & Rochana, I. P. (2024). Perbandingan penerapan material fasad ACP dan aluminium sheet terhadap iklim tropis pada bangunan apartemen di

- Surabaya. *Prosiding (SIAR) Seminar Ilmiah Arsitektur* (2024). Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Xie, X., Chen, X., Xu, B., & Pei, G. (2022). Investigation of occupied/unoccupied period on thermal comfort in Guangzhou: Challenges and opportunities of public buildings with high window-wall ratio. *Energy*, 244, 123186. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123186>
- Zhai, Y., Wang, Y., Huang, Y., & Meng, X. (2019). A multi-objective optimization methodology for window design considering energy consumption, thermal environment and visual performance. *Renewable Energy*, 134, 1190–1199. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.024>

