

PENGARUH DESAIN PENEDUH PADA SELUBUNG BANGUNAN TERHADAP KONSUMSI ENERGI BANGUNAN PENDIDIKAN DI KAWASAN PERKOTAAN DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI EDGE

THE EFFECT OF SHADING DESIGN ON BUILDING ENVELOPE ON ENERGY CONSUMPTION OF EDUCATIONAL BUILDINGS IN URBAN AREAS USING EDGE SIMULATION

¹Khalid Abdul Mannan, ²Rahma Purisari, ³Zaki Saptari Saldi, ⁴Titus Adi Kurniawan

¹Jalan Majapahit No. 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat

^{2,3,4}Jalan Cendrawasih Raya Blok B7/P, Tangerang Selatan

¹khalidamannan@staff.unram.ac.id, ²rahma.purisari@upj.ac.id, ³zaki.saldi@upj.ac.id,

⁴titus.kurniawan@upj.ac.id

Abstrak

Bangunan pendidikan termasuk tipe bangunan dengan jam operasional tinggi, dan kebutuhan energi yang signifikan, terutama di kawasan perkotaan dengan iklim tropis. Studi ini bertujuan mengevaluasi pengaruh desain peneduh pada selubung bangunan terhadap konsumsi energi bangunan pendidikan di area perkotaan. Studi kasus dilakukan di Ruang 502 Gedung A Universitas Pembangunan Jaya (UPJ), yang merepresentasikan ruang kelas dengan paparan sinar matahari langsung. Metode penelitian menggunakan simulasi energi dengan software EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*) dengan variasi ukuran peneduh horizontal (*Overhang Depth/ODE*), peneduh vertikal (*Fin Depth/FDe*), dan kombinasi peneduh horizontal dan vertikal (*ODE+FDe*) untuk menentukan dampaknya pada konsumsi energi tahunan bangunan. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan dimensi peneduh berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi pada bangunan. Tingkat efisiensi energi meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya ukuran peneduh, dengan efisiensi tertinggi pada konfigurasi gabungan *ODE+FDe* pada 1,6 m, menghasilkan penghematan energi hingga 2,11%, bila dibandingkan dengan kondisi tanpa peneduh. Nilai *Annual Average Shading Factor* (AASF) dihitung untuk menilai efektivitas peneduh dalam mengurangi beban panas matahari, menggunakan pendekatan simulasi komparatif antara model dengan dan tanpa peneduh. Hasil studi ini mengonfirmasi bahwa desain peneduh eksternal baik horizontal, vertikal, atau kombinasi keduanya merupakan strategi pasif efektif untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan pendidikan di iklim tropis perkotaan. Simulasi berbasis EDGE dapat digunakan sebagai alat pendukung keputusan dalam merancang selubung bangunan yang mendukung efisiensi energi pada bangunan.

Kata kunci: efisiensi energi; selubung bangunan; *annual average shading factor* ; EDGE; bangunan pendidikan.

Abstract

Educational buildings are among the building types with high operational hours and significant energy demands, especially in urban areas with a tropical climate. This study aims to evaluate the effect of shading design on the building envelope on the energy consumption of educational buildings in urban areas. The case study was conducted in Room 502 of Building A at Pembangunan Jaya University (UPJ), which represents a classroom with direct exposure to solar radiation. The research method employed is energy simulation using EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) software by varying the size of horizontal shading (Overhang Depth/ODE), vertical shading (Fin Depth/FDe), and their combination (ODE+FDe) to determine their impact on the building's annual energy consumption. The simulation results show that

increasing the dimensions of shading contributes to a reduction in energy consumption, particularly in cooling loads. Energy efficiency values increase gradually as the shading dimensions grow, with the highest efficiency achieved in the combined ODe+FDe configuration at 1.6 m, resulting in energy savings of up to 2.11%. The Annual Average Shading Factor (AASF) was calculated to assess the effectiveness of shading in reducing solar heat loads, using a comparative simulation approach between models with and without shading. The findings of this study confirm that external shading design—whether horizontal, vertical, or a combination of both—is an effective passive strategy for improving the energy efficiency of educational buildings in tropical urban climates. EDGE-based simulation can be utilized as a decision-support tool in designing energy-efficient building envelopes

Keywords: energy efficiency; building envelope; Annual Average Shading Factor; EDGE; educational buildings.

PENDAHULUAN

Konsumsi energi di sektor bangunan terus meningkat seiring pertumbuhan aktivitas dan urbanisasi, khususnya di kawasan perkotaan [1]. Bangunan pendidikan seperti ruang kelas dan laboratorium memiliki kebutuhan energi yang signifikan, terutama untuk sistem pendingin udara di iklim tropis seperti Indonesia. Pada bangunan di negara beriklim tropis, penggunaan energi umumnya didominasi oleh sistem tata udara sebesar 45–70%, diikuti sistem tata cahaya 10–20%, transportasi vertikal seperti lift dan eskalator 2–7%, serta peralatan elektronik 2–10% [2]. Radiasi matahari langsung yang masuk melalui bukaan kaca adalah salah satu penyebab utama tingginya beban termal yang kemudian meningkatkan konsumsi energi [3].

Salah satu cara mengurangi konsumsi energi adalah dengan strategi desain pasif, terutama mengoptimalkan desain selubung bangunan [4], seperti penggunaan perangkat peneduh eksternal. Perangkat peneduh seperti peneduh horizontal (*overhang*), peneduh vertikal (*fin*), atau kombinasi keduanya dapat mengurangi jumlah panas matahari yang masuk ke dalam ruangan [5], sehingga beban pendinginan dapat berkurang [6]. Dalam salah satu penelitian menunjukkan *shading* bisa meningkatkan efisiensi energi bangunan sebesar 7% sampai 17%, dengan konfigurasi tertentu memberikan penghematan tertinggi [7]. Efektivitas desain peneduh dapat dievaluasi melalui simulasi energi

menggunakan perangkat lunak seperti EDGE App (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*), yang mampu menghitung efisiensi energi secara kuantitatif. Salah satu parameter kuantitatif yang digunakan dalam EDGE App adalah *Annual Average Shading Factor* (AASF) yang menunjukkan sejauh mana peneduh mengurangi jumlah panas matahari yang diteruskan ke dalam bangunan [8].

Peneduh dan parameter selubung lainnya dapat dinilai secara kuantitatif menggunakan EDGE, yang mengevaluasi kontribusinya dalam mengurangi beban pendinginan dan meningkatkan efisiensi energi [9]. Penelitian ini memanfaatkan software EDGE yang lebih umum dipakai untuk sertifikasi bangunan hijau, sebagai alat untuk mengevaluasi desain peneduh. Dibandingkan dengan aplikasi/software simulasi energi lainnya seperti EnergyPlus atau IES-VE, EDGE mudah diakses karena berbasis *cloud* dan mudah dalam pengoperasiannya [10]. Penilaian efektivitas peneduh selama ini umumnya berfokus pada kaca melalui parameter SHGC, termasuk pengembangan lanjutannya seperti adjusted SHGC (aSHGC) dan weighted SHGC (SHGC_w) seperti yang diajukan Kohler dkk [11]. Namun, pendekatan tersebut masih relatif teknis dan belum terintegrasi dalam sistem penilaian bangunan hijau yang sederhana.

Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengusulkan *Annual Average Shading*

Factor (AASF) sebagai parameter praktis untuk menilai kinerja peneduh, di mana parameter ini telah terintegrasi dalam EDGE App. AASF dirancang sebagai indikator yang lebih mudah dipahami dan digunakan, karena menyajikan rata-rata efektivitas peneduh secara langsung tanpa harus melalui perhitungan simulasi yang kompleks. Dalam EDGE Methodology Report 2.0 disebutkan bahwa perhitungan penghematan energi dalam EDGE menggunakan pendekatan keseimbangan panas bangunan tahunan (*monthly quasi-steady state energy balance*) yang mengacu pada metode standar European CEN dan ISO 13790 [12]. Dalam pendekatan ini, kebutuhan energi pendinginan dihitung dari total perpindahan panas melalui selubung bangunan, yang meliputi konduksi pada dinding dan atap, radiasi matahari melalui bukaan, serta kontribusi beban internal. Parameter *Annual Average Shading Factor* (AASF) dimasukkan sebagai koefisien reduksi terhadap radiasi surya yang melewati area kaca, sehingga secara matematis menurunkan nilai solar heat gain sebelum dihitung dalam total beban pendinginan tahunan ($Q_{\text{solar}} = A_{\text{glazing}} \times \text{SHGF} \times \text{AASF} \times \text{SC}$). Perubahan nilai panas matahari yang masuk ini kemudian memengaruhi perhitungan energi yang dibutuhkan sistem pendingin, yang dihitung berdasarkan data iklim lokasi, karakteristik operasional bangunan, dan efisiensi sistem mekanikal, sehingga setiap intervensi desain selubung dapat dievaluasi secara kuantitatif terhadap konsumsi energi tahunan bangunan. Hal ini sejalan dengan definisi *Annual Average Shading Factor* (AASF) yaitu rasio antara total panas matahari tahunan yang masuk melalui jendela dengan peneduh terhadap tanpa peneduh [13]. Selain itu, dalam EDGE User Guide juga ditegaskan bahwa nilai faktor peneduh dinyatakan dalam angka desimal antara 0 hingga 1, di mana semakin tinggi nilainya, semakin besar kemampuan peneduh dalam mengurangi panas matahari yang masuk [13]. Dengan demikian, AASF dapat

digunakan sebagai instrumen penilaian kinerja peneduh yang praktis dan aplikatif, sekaligus mendukung sertifikasi bangunan hijau melalui penyederhanaan proses asesmen dan penguatan peran peneduh sebagai strategi desain pasif.

Penelitian ini merupakan bagian awal dari studi pengembangan desain selubung hijau bagi bangunan pendidikan di perkotaan, yang bertujuan menghasilkan rancangan selubung bangunan yang mampu mengurangi konsumsi energi pada bangunan pendidikan melalui penurunan beban pendinginan. Penelitian ini fokus pada analisis awal kinerja dari variasi dimensi peneduh eksternal sebagai komponen utama selubung bangunan. Dengan mengkaji dampak dimensi peneduh horizontal dan vertikal terhadap konsumsi energi, hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan data awal untuk menentukan konfigurasi desain selubung bangunan yang optimal.

STUDI LITERATUR

Perangkat Peneduh Eksternal

Perangkat peneduh eksternal adalah salah satu strategi desain pasif yang umum digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan, terutama di iklim panas [14]. Menurut EDGE, peneduh eksternal yang dipasang di luar jendela lebih efektif daripada peneduh internal dalam mengurangi radiasi matahari karena dapat memblokir radiasi gelombang pendek sebelum masuk ke dalam bangunan [8]. Efektivitas peneduh diukur menggunakan parameter seperti *shading factor* dan *Annual Average Shading Factor* (AASF), yang dihitung melalui simulasi komparatif antara kondisi tanpa *shading* dan dengan *shading*.

Beberapa studi menunjukkan bahwa variasi dimensi *overhang* dan *fin* sangat memengaruhi kinerja termal dan konsumsi energi bangunan [15], [16], [17]. Freewan menegaskan peran ganda peneduh dalam mengendalikan performa termal dan

pencahayaannya alami di gedung kantor pada iklim panas [18], sementara Li et al. melaporkan penghematan energi 1,4% sampai 5,3% dengan konfigurasi sistem *shading* termal surya (BISTS) terintegrasi pada gedung kantor di Los Angeles [19]. Demikian juga, Sghiouri et al. menunjukkan optimasi overhang dapat meningkatkan kenyamanan termal dan mengurangi kebutuhan pendinginan hingga 4,1% [20].

Ahmed et al. menuliskan bahwa kinerja energi pada selubung bangunan telah banyak diteliti menggunakan alat simulasi seperti EnergyPlus, ESP-r, TRNSYS, Computational Fluid Dynamics (CFD) dan/atau software sejenis [21]. Namun, pemanfaatan EDGE, software yang umum digunakan untuk sertifikasi bangunan hijau, sebagai alat evaluasi kinerja peneduh masih relatif terbatas. Berbeda dengan perangkat simulasi energi lain yang memerlukan input data rinci, EDGE memiliki antarmuka yang sederhana dan berbasis *cloud*, sehingga memudahkan perencana maupun praktisi dalam menilai efektivitas strategi peneduh bangunan, termasuk *overhang* dan *fin*.

Sejumlah penelitian terbaru telah meneliti kinerja energi dan kenyamanan termal pada bangunan pendidikan di iklim tropis, khususnya di Indonesia dan Malaysia, seperti *benchmarking* energi ruang kelas di iklim panas-lembab [22], evaluasi kenyamanan termal pada ruang kelas dengan kaca parsial [23], serta perbandingan efisiensi energi bangunan pendidikan bertingkat tinggi [24]. Temuan-temuan tersebut menegaskan pentingnya strategi peneduh dan selubung bangunan dalam meningkatkan kenyamanan dan efisiensi energi. Meskipun demikian, penelitian yang secara langsung menguji efektivitas beragam strategi peneduhan, baik berupa *overhang*, *fin*, maupun kombinasi keduanya, pada bangunan pendidikan di lingkungan perkotaan tropis padat masih terbatas, sehingga penelitian ini penting untuk dilakukan.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui simulasi energi berbasis komputer. Variasi ukuran panjang peneduh vertikal, horizontal dan kombinasi keduanya dievaluasi dengan memasukkan data aktual ruang kelas dan orientasi fasad ke dalam perangkat lunak EDGE. Hasil simulasi berupa konsumsi energi tahunan dan nilai *Annual Average Shading Factor* (AASF) kemudian dibandingkan untuk menilai efektivitas masing-masing dari tiap peneduh. Pendekatan ini membantu melihat pola perubahan efisiensi energi sebelum dan sesudah ditambahkan peneduh secara jelas, sekaligus dapat melihat dimensi peneduh yang paling optimal. Proses simulasi dalam penelitian ini dimulai dengan:

- Menentukan tipologi bangunan sebagai "Pendidikan: Universitas".
- Memilih lokasi bangunan. Karena lokasi studi kasus (Tangerang Selatan) tidak tersedia dalam basis data EDGE, lokasi terdekat yang tersedia yakni Jakarta, Indonesia digunakan sebagai pengganti.
- Memasukkan parameter desain bangunan yang meliputi:
 - Luas lantai ruang kelas 502 sebesar 71,25 m² (9,5 m x 7,5 m).
 - Luas jendela di sisi timur laut berukuran 7,98 m².
 - Luas dinding pada sisi yang sama sebesar 16,24 m².

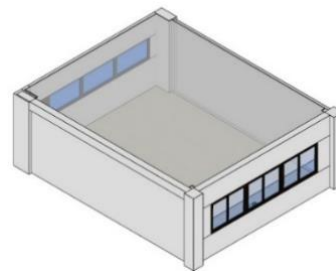
Sisi yang terkena sinar matahari langsung dan terpapar udara luar adalah sisi yang menghadap ke timur laut. Posisi dan tata letak ruangan dapat dilihat pada gambar berikut ini (Gambar 1). Simulasi kemudian dilakukan untuk membandingkan konsumsi energi tahunan bangunan yang dilengkapi dengan perangkat peneduh eksternal dengan variasi dimensi pada bagian *External Shading Devices* (EEM04) yang terdiri dari:

- *Overhang Depth* (ODe): peneduh horizontal

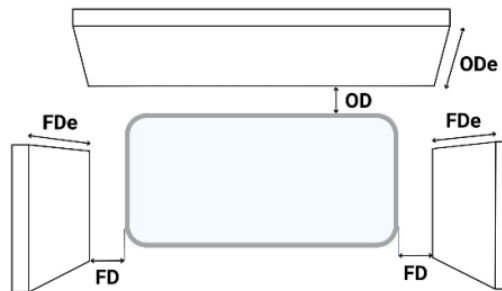
- *Fin Depth* (FDe): peneduh vertikal
- Kombinasi ODe + FDe

Variasi dimensi pada peneduh diuji mulai dari ukuran panjang 0,2 m hingga 1,6 m. Aplikasi EDGE menghitung efisiensi energi

berdasarkan pengurangan beban radiasi matahari yang diteruskan ke dalam bangunan. Nilai efisiensi energi ini dinyatakan dalam persentase penghematan dibandingkan dengan kondisi dasar tanpa peneduh.



Gambar 1. Lokasi Penelitian – Ruang Studio Arsitektur 502, Kampus UPJ



Gambar 2. Ilustrasi Dimensi yang Digunakan untuk Menghitung Faktor *Shading*.

EEM04 External Shading Devices: Annual Average Shading Factor (AASF) 0.01
Base Case Value: No Shading

Incremental Cost - IDR
Default 36,558 User Entry

AASF 0.01

Calculator
EEM04 - External Shading Devices Calculator

Window Orientation	Shading Type	Window Area (m ²)	Height Of The Window (m)	Width Of The Window (m)	Overhang Depth (m)	Overhang Distance (m)	Fin Depth (m)	Fin Distance (m)
North East	Type 1	7.98	1.4	5.7	0.2	0.2	0	0

+ ADD TYPE

Select + ADD SELECTED ORIENTATION

AASF 0.01

CALCULATE

Insert calculated value on measure? INSERT

CLEAR ALL

Gambar 3. Simulasi EDGE.

HASIL DAN PEMBAHASAN

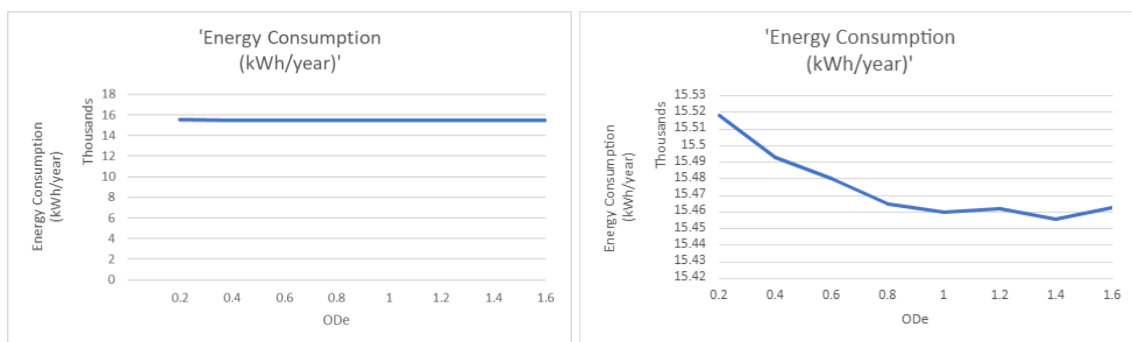
Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan dimensi pada peneduh umumnya mengarah pada pengurangan konsumsi energi tahunan. Temuan ini mengindikasikan bahwa semakin besar ukuran atau kedalaman peneduh, semakin efektif pula kemampuannya dalam mengurangi beban panas matahari yang masuk ke dalam ruang. Dengan demikian, variasi desain peneduh berperan penting dalam menentukan tingkat efisiensi energi bangunan. Berikut ini adalah ringkasan hasil simulasi (Tabel 1).

Hasil variasi kedalaman *overhang* (ODE) menunjukkan bahwa peningkatan kedalaman *overhang* umumnya meningkatkan

efisiensi energi. Tingkat efisiensi naik dari 1,49% pada kedalaman 0,2 m hingga puncaknya 1,88% pada kedalaman 1,4 m, menunjukkan efektivitas perangkat peneduh horizontal dalam mengurangi panas matahari. Namun, terjadi penurunan efisiensi sedikit menjadi 1,84% pada kedalaman 1,6 m. Hal ini menunjukkan bahwa kedalaman overhang sekitar 1,0–1,4 m dapat dianggap sebagai rentang optimal untuk ruang kelas yang menghadap timur laut dalam studi ini. Melebihi batas tersebut, penambahan kedalaman memberikan kontribusi yang kecil terhadap penghematan energi lebih lanjut dan berpotensi meningkatkan biaya material serta mempengaruhi desain fasad.

Tabel 1. Kedalaman *Overhang* (ODE)

ODE (meter)	Energy Efficiency Level (%)	Energy Consumption (kWh/year)
0.2	1.49%	15518
0.4	1.65%	15493
0.6	1.73%	15480
0.8	1.83%	15465
1	1.86%	15460
1.2	1.85%	15462
1.4	1.88%	15456
1.6	1.84%	15463



Gambar 4. Efek Kedalaman *Overhang* (ODE) pada Efisiensi Energi dan Konsumsi Energi. (Kiri) Grafik utama dengan rentang konsumsi energi 0-18.000 kwh/tahun, (Kanan) Grafik tambahan dengan rentang konsumsi energi lebih spesifik untuk menunjukkan tren perubahan.

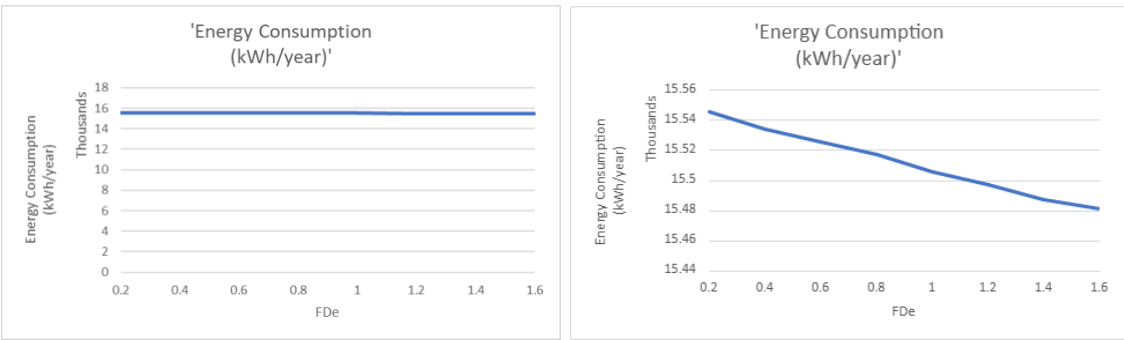
Hasil kedalaman *Fin* (FDe) menunjukkan adanya peningkatan efisiensi energi dari 1,31% pada kedalaman 0,2 m menjadi 1,73% pada kedalaman 1,6 m. Dibandingkan dengan *overhang*, *fin* kurang efektif untuk ruang kelas yang menghadap arah timur laut, mengindikasikan bahwa peneduh vertikal kurang cocok untuk orientasi tersebut. Namun demikian, *fin* tetap merupakan elemen pelengkap yang berpengaruh, terutama dalam mengendalikan radiasi matahari dari sudut miring, meskipun pengaruhnya tidak sebesar *overhang*.

Konfigurasi kombinasi antara *overhang* dan *fin* (ODe+FDe) menunjukkan peningkatan efisiensi energi yang paling signifikan

dibandingkan strategi peneduh tunggal. Efisiensi energi meningkat dari 1,51% pada kedalaman 0,2 m menjadi 2,11% pada kedalaman 1,6 m. Temuan ini mengindikasikan adanya efek sinergis antara elemen peneduh horizontal dan vertikal, yang menghasilkan kinerja lebih tinggi dibandingkan jika diterapkan secara terpisah. Berdasarkan hasil tersebut, kedalaman kombinasi dalam kisaran 1,4–1,6 m dapat dianggap sebagai konfigurasi optimal, sekaligus menegaskan bahwa strategi kombinasi merupakan pendekatan pasif yang paling efektif untuk menurunkan konsumsi energi tahunan pada ruang pendidikan dengan orientasi timur laut.

Tabel 2. Kedalaman Fin (FDe)

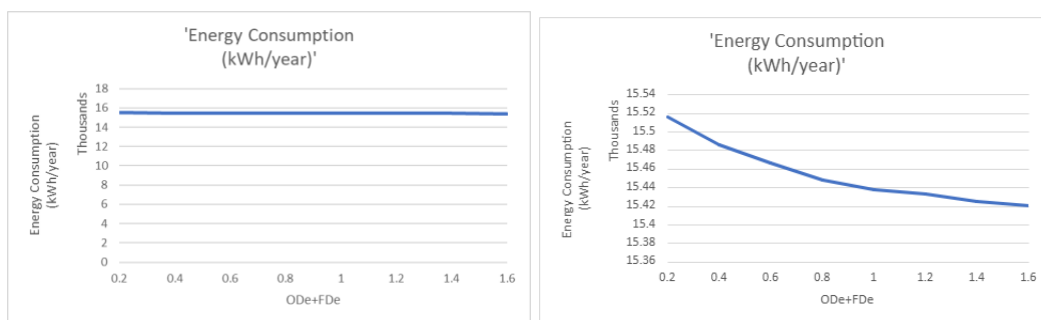
FDe (meter)	Energy Efficiency Level (%)	Energy Consumption (kWh/year)
0.2	1.31%	15546
0.4	1.39%	15534
0.6	1.44%	15526
0.8	1.50%	15517
1	1.57%	15506
1.2	1.63%	15497
1.4	1.69%	15487
1.6	1.73%	15481



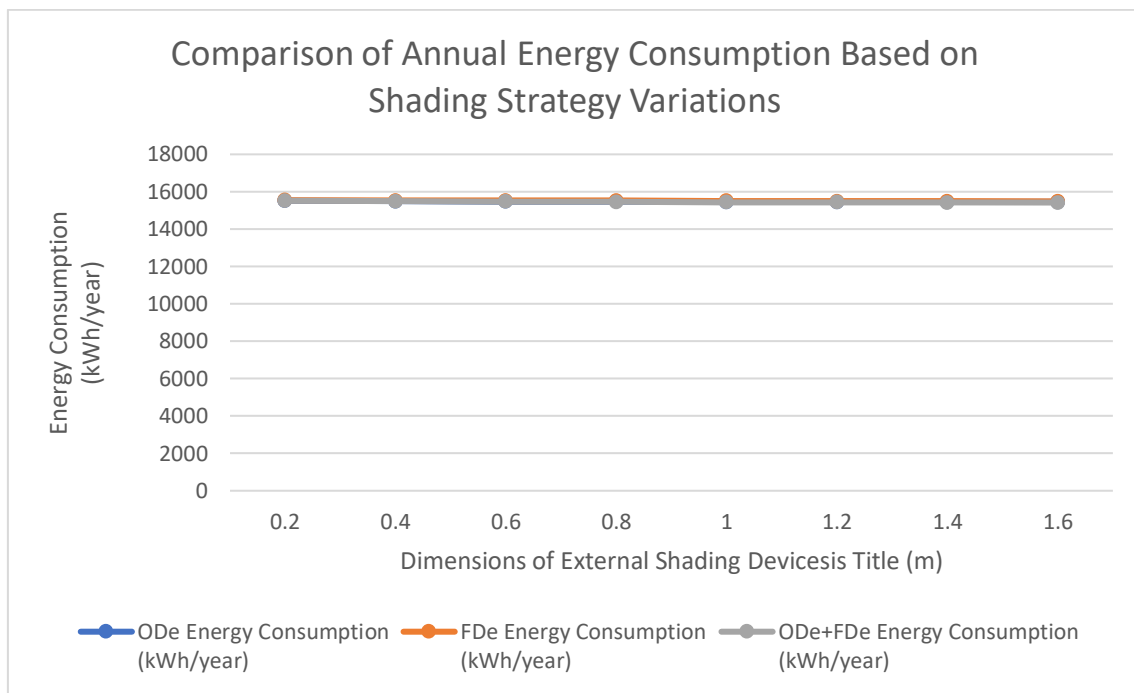
Gambar 5. Pengaruh Kedalaman Fin (FDe) terhadap Efisiensi Energi dan Konsumsi Energi. (Kiri) Grafik utama dengan rentang konsumsi energi 0-18.000 kwh/tahun, (Kanan) Grafik tambahan dengan rentang konsumsi energi lebih spesifik untuk menunjukkan tren perubahan.

Tabel 3. Kombinasi ODe + FDe

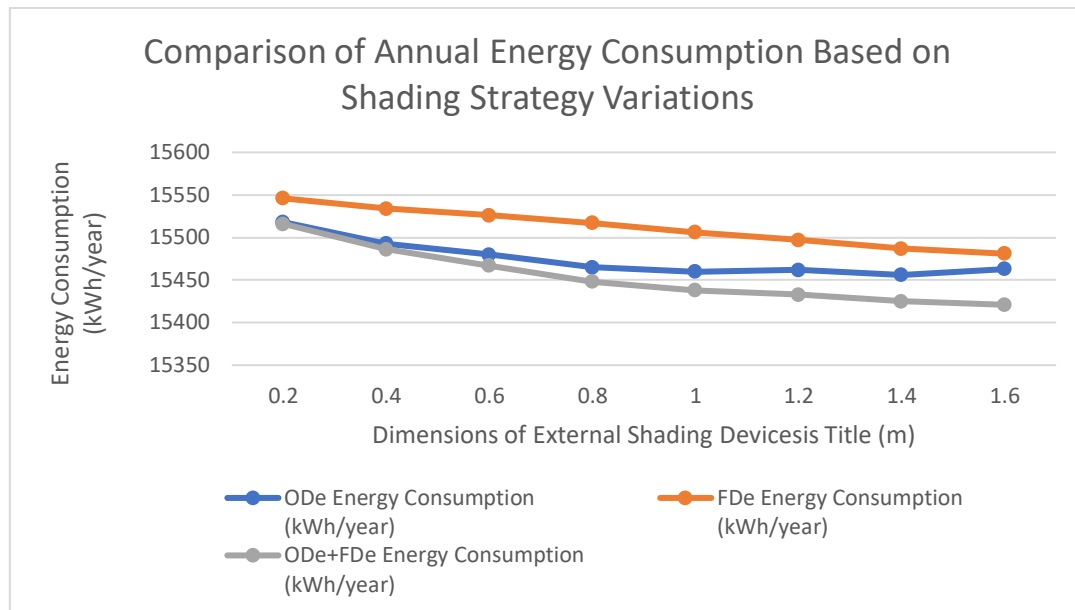
ODe+FDe (meter)	Energy Efficiency Level (%)	Energy Consumption (kWh/year)
0.2	1.51%	15516
0.4	1.69%	15486
0.6	1.81%	15467
0.8	1.94%	15448
1	2.00%	15438
1.2	2.03%	15433
1.4	2.09%	15425
1.6	2.11%	15421



Gambar 6. Pengaruh Kombinasi Kedalaman *Overhang* (ODe) dan Kedalaman *Fin* (FDe) terhadap Efisiensi Energi dan Konsumsi Energi. (Kiri) Grafik utama dengan rentang konsumsi energi 0-18.000 kwh/tahun, (Kanan) Grafik tambahan dengan rentang konsumsi energi lebih spesifik untuk menunjukkan tren perubahan.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Konsumsi Energi Tahunan Berdasarkan Variasi Strategi di Rentang Konsumsi Energi 0-18.000 kwh/tahun



Gambar 8. Grafik Perbandingan Konsumsi Energi Tahunan Berdasarkan Variasi Strategi Shading dengan rentang konsumsi energi lebih spesifik untuk menunjukkan tren perubahan.

Hasil analisis perbandingan yang ditampilkan dalam tabel menunjukkan sejumlah temuan penting mengenai efektivitas perangkat peneduh eksternal. Pertama, terlihat pola penurunan konsumsi energi tahunan seiring dengan bertambahnya dimensi peneduh. Hal ini mengonfirmasi prinsip dasar bahwa perangkat peneduh dengan ukuran lebih besar mampu menghalangi radiasi matahari dalam jumlah lebih signifikan sebelum memasuki ruang dalam, sehingga menurunkan beban pendinginan.

Kedua, perbandingan antara *overhang* horizontal (ODe) dan *fin* vertikal (FDe) memperlihatkan bahwa *overhang* memiliki kinerja yang sedikit lebih baik pada ruang kelas dengan orientasi timur laut. Pada dimensi maksimum yang diuji (1,6 m), *overhang* menghasilkan efisiensi sebesar 1,86% dibandingkan dengan *fin* yang mencapai 1,73%. Temuan ini mengindikasikan bahwa untuk orientasi tersebut timur laut, perangkat peneduh horizontal lebih efektif dalam mengurangi panas matahari dibandingkan perangkat vertikal. Ketiga, konfigurasi

kombinasi antara *overhang* dan *fin* (ODe+FDe) secara konsisten menunjukkan performa lebih baik dibanding strategi tunggal. Pendekatan ini menghasilkan efisiensi tertinggi, yaitu 2,11%, dengan konsumsi energi tahunan terendah sebesar 15.421 kWh/tahun pada kedalaman 1,6 m. Hal ini menegaskan adanya efek dari penggabungan elemen peneduh horizontal dan vertikal memberikan peningkatan kinerja lebih besar daripada penerapan salah satunya secara individual. Keempat, hasil simulasi juga menunjukkan adanya fenomena *diminishing return*. Peningkatan dimensi peneduh setelah melewati titik tertentu tidak selalu diikuti oleh peningkatan kinerja yang signifikan. Sebagai contoh, efisiensi *overhang* mencapai nilai tertinggi 1,88% pada kedalaman 1,4 m, namun sedikit menurun menjadi 1,84% pada kedalaman 1,6 m. Hal ini menunjukkan adanya ambang batas desain optimal, di mana peningkatan dimensi lebih lanjut hanya memberikan manfaat tambahan yang terbatas.

Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa untuk bangunan yang

berorientasi timur laut, konfigurasi kombinasi peneduh horizontal dan vertikal dengan kedalaman antara 1,4 hingga 1,6 m merupakan strategi desain pasif yang paling efektif untuk menurunkan konsumsi energi pada bangunan pendidikan di kawasan perkotaan beriklim tropis.

Perbandingan antara hasil simulasi dan konsumsi energi riil pada bangunan studi kasus belum dapat dilakukan secara kuantitatif karena keterbatasan ketersediaan data operasional, seperti catatan pemakaian listrik terukur, profil penggunaan ruang, dan jadwal hunian yang diperlukan untuk kalibrasi model. Simulasi EDGE dalam penelitian ini masih menggunakan asumsi standar operasional sehingga merepresentasikan kondisi tipikal, bukan kondisi aktual terkalibrasi. Oleh karena itu, ketiadaan proses kalibrasi menyebabkan tingkat perbedaan (*discrepancy*) tidak dapat dihitung dan menjadi salah satu batasan penelitian. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data energi terukur dan kondisi lapangan untuk validasi agar akurasi prediksi penghematan energi dapat ditingkatkan.

SIMPULAN

Penelitian ini mengkaji pengaruh desain peneduh eksternal meliputi *overhang*, *fin*, serta kombinasi keduanya terhadap kinerja energi bangunan pendidikan di kawasan tropis perkotaan, dengan menggunakan simulasi EDGE sebagai alat analisis. Hasil penelitian menegaskan bahwa perangkat peneduh berperan penting dalam mengurangi beban pendinginan sekaligus meningkatkan efisiensi energi pada ruang kelas yang terekspos langsung terhadap radiasi matahari.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa *overhang* horizontal (ODe) memiliki kinerja yang sedikit lebih baik dibandingkan *fin* vertikal (FDe) pada ruang kelas berorientasi timur laut, dengan efisiensi energi maksimum sebesar 1,88% dibandingkan 1,73% pada *fin*. Namun, konfigurasi kombinasi *overhang* dan *fin* (ODe+FDe) memberikan hasil paling

optimal, dengan efisiensi hingga 2,11% dan penghematan energi tahunan sebesar 15.421 kWh. Efek sinergis ini menegaskan keunggulan integrasi strategi peneduh horizontal dan vertikal dibandingkan penggunaan salah satunya secara tunggal. Selain itu, hasil simulasi mengindikasikan adanya ambang batas desain optimal. Peningkatan kedalaman perangkat peneduh memang meningkatkan efisiensi energi, tetapi manfaat tambahan cenderung berkurang setelah melewati titik tertentu. Misalnya, kedalaman *overhang* pada kisaran 1,0–1,4 meter menghasilkan keseimbangan paling baik antara kinerja dan pertimbangan desain, sementara dimensi yang lebih besar hanya memberikan tambahan efisiensi yang relatif kecil.

Dari sisi metodologis, penelitian ini menunjukkan pemanfaatan aplikasi EDGE yang umumnya digunakan untuk sertifikasi bangunan hijau sebagai platform simulasi yang efektif untuk kajian akademik. Integrasi *Annual Average Shading Factor* (AASF) juga memberikan tolok ukur kuantitatif yang praktis untuk mengevaluasi kinerja perangkat peneduh. Dengan demikian, studi ini menyumbangkan kasus spesifik yang relevan dengan konteks di Indonesia sekaligus memperkenalkan kebaruan metodologis dalam diskusi mengenai strategi desain pasif untuk bangunan pendidikan di iklim tropis. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa perangkat peneduh eksternal merupakan strategi pasif yang efektif untuk meningkatkan kinerja energi pada ruang kelas di kawasan perkotaan tropis. Walaupun peningkatan efisiensi yang dicapai relatif tidak besar, temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan prototipe selubung hijau yang sesuai dengan karakteristik iklim dan pola operasional bangunan pendidikan.

Sebagai langkah pengembangan lebih lanjut, disarankan agar penelitian tidak hanya berfokus pada satu orientasi bangunan, melainkan mencakup seluruh orientasi untuk

memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas peneduh. Selain itu, validasi hasil sebaiknya dilakukan dengan menggunakan beragam perangkat simulasi energi bangunan, sehingga reliabilitas analisis dapat ditingkatkan. Pendekatan ini juga perlu diperkaya melalui pengukuran langsung kondisi lapangan, sehingga hasil simulasi dapat dibandingkan dengan data empiris yang nyata. Dengan demikian, penelitian lanjutan dianjurkan untuk menggabungkan simulasi, validasi eksperimental, serta eksplorasi sistem peneduh adaptif dan inovatif yang berpotensi lebih jauh meningkatkan keberlanjutan lingkungan pendidikan di daerah tropis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Yang *et al.*, “Impacts of Urbanization on Energy Consumption in the South Asian Association for Regional Cooperation Zone,” *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 8141, vol. 16, no. 18, p. 8141, Sep. 2024, doi: 10.3390/SU16188141.
- [2] D. Ariestadi, I. Alfianto, and M. Sulton, “Kriteria Kinerja Energi Untuk Kenyamanan Termal Pada Bangunan Fasilitas Pendidikan Tinggi Di Indonesia Analisis Dengan Metode Important Performance Analysis,” *RUAS*, vol. 12, no. 1, pp. 31–41, Jul. 2014, doi:10.21776/ub.ruas.2014.012.01.4.
- [3] N. Uddin, K. A. Mannan, S. G. Tarigan, P. Jaya, and T. Selatan, “IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Iot-based measurement for observing thermal conductivity of modern office building Iot-based measurement for observing thermal conductivity of modern office building,” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 1268, p. 12009, doi: 10.1088/1755-1315/1268/1/012009.
- [4] W. N. Putri and R. Purisari, “The Effectiveness of Building Envelope through OTTV Analysis (Case Study: Building B, Universitas Pembangunan Jaya),” *International Conference on Social Design Proceeding*, vol. 1, 2022, Accessed: Apr. 04, 2025. [Online]. Available: <https://ojs.uph.edu/index.php/ICSD/article/view/6427>
- [5] K. A. Mannan, S. G. Tarigan, and N. Uddin, “A Study of Shading Selection Strategy for Natural Ventilation of Office Buildings in Jakarta,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1218, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1218/1/012037.
- [6] A. M. Nasution and Y. S. Rambe, “Pengaruh Desain Overhang Terhadap Efisiensi Energi Dan Kenyamanan Termal Pada Bangunan Seni Di Kota Medan,” *Jurnal Arsitektur TERRACOTTA*, vol. 4, no. 3, p. 237, Aug. 2023, doi: 10.26760/TERRACOTTA.V4I3.8783.
- [7] A. Ibrahim, A. Freewan, and A. Obeidat, “An Evaluation Study of Shading Devices and Their Impact on the Aesthetic Perception vs. Their Energy Efficiency,” *Journal of Facade Design and Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 37–59, 2023, doi: 10.47982/JFDE.2023.1.03.
- [8] “Part 3-Energy Measures,” 2024.
- [9] V. Nindita, P. Purwanto, J. Windarta, and Hadiyanto, “Comparative analysis of green building software for energy efficiency in campus settings,” *Green Technologies and Sustainability*, vol. 3, no. 3, p. 100191, Jul. 2025, doi: 10.1016/J.GRETS.2025.100191.
- [10] M. Semua Tipe Bangunan, “Panduan Bagi Pengguna EDGE,” 2020.
- [11] C. Kohler, Y. Shukla, and R. Rawal, “Calculating the effect of external shading on the solar heat gain coefficient of windows,” *Building Simulation Conference Proceedings*, vol. 5, pp.

- 2817–2823, Aug. 2017, doi: 10.26868/25222708.2017.769.
- [12] “EDGE Methodology Report”.
- [13] “Part 3-Energy Measures,” 2025.
- [14] A. I. Jega and S. S. Muhy Al-Din, “Implication of Shading Passive Strategies in Buildings of Hot and Humid Climates for Energy Optimization: Lessons from Vernacular Dwellings in Nigeria,” *Journal of Salutogenic Architecture*, vol. 2, no. 1, pp. 50–69, Dec. 2023, doi: 10.38027/JSALUTOGENIC_VOL2NO1_4.
- [15] A. Heidari, M. Taghipour, and Z. Yarmahmoodi, “The Effect of Fixed External Shading Devices on Daylighting and Thermal Comfort in Residential Building,” *Journal of Daylighting*, Vol. 8, Issue 2, pp.165-180, vol. 8, no. 2, pp. 165–180, Jun. 2021, doi: 10.15627/JD.2021.15.
- [16] G. Kim, H. S. Lim, T. S. Lim, L. Schaefer, and J. T. Kim, “Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings,” *Energy Build.*, vol. 46, pp. 105–111, Mar. 2012, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2011.10.040.
- [17] A. Dutta, A. Samanta, and S. Neogi, “Influence of orientation and the impact of external window shading on building thermal performance in tropical climate,” *Energy Build.*, vol. 139, pp. 680–689, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2017.01.018.
- [18] A. A. Y. Freewan, “Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions,” *Solar Energy*, vol. 102, pp. 14–30, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.SOLENER.2014.01.009.
- [19] L. Li, M. Qu, and S. Peng, “Performance evaluation of building integrated solar thermal shading system: Building energy consumption and daylight provision,” *Energy Build.*, vol. 113, pp. 189–201, Feb. 2016, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2015.12.040.
- [20] H. Sghiouri, A. Mezrhab, M. Karkri, and H. Naji, “Shading devices optimization to enhance thermal comfort and energy performance of a residential building in Morocco,” *Journal of Building Engineering*, vol. 18, pp. 292–302, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.JOBE.2018.03.018.
- [21] M. M. S. Ahmed, A. K. Abel-Rahman, A. H. H. Ali, and M. Suzuki, “Double Skin Façade: The State of Art on Building Energy Efficiency,” *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 4, no. 1, pp. 84–89, 2015, doi: 10.7763/JOCET.2016.V4.258.
- [22] J. Litardo, R. Hidalgo-Leon, and G. Soriano, “Energy Performance and Benchmarking for University Classrooms in Hot and Humid Climates,” *Energies 2021, Vol. 14, Page 7013*, vol. 14, no. 21, p. 7013, Oct. 2021, doi: 10.3390/EN14217013.
- [23] W. Budiawan, I. K. C. P. Wiguna, K. D. Kurnia, H. Prastawa, T. Phommachak, and P. Andarani, “Assessing Thermal Comfort and Energy Efficiency in Partially Glazed Classroom Environments: Implications for Climate-Resilient Educational Spaces,” *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 14, no. 5, pp. 1527–1537, Oct. 2024, doi: 10.18280/IJSSE.140520.
- [24] M. A. M. Shukri, J. Jailani, and A. Hauashdh, “Benchmarking the Energy Efficiency of Higher Educational Buildings: A Case Study Approach,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 12, no. 2, pp. 491–496, Mar. 2022, doi: 10.32479/IJEEP.11941.