



HUBUNGAN ANTARA ILUMINASI CAHAYA ALAMI DAN PEROLEHAN PANAS INTERNAL PADA MODEL RUANG TROPIS

Dian Nugraha¹, Mukhamad Risa Diki Pratama¹, Muhammad Segha Sufia Purnama¹

Universitas Indraprasta PGRI

E-mail: dnugraha.kampus@gmail.com, mrdikipratama1@gmail.com, ages125@gmail.com

Informasi Naskah:

Diterima:

15 April 2026

Direvisi:

3 Mei 2026

Disetujui terbit:

15 Mei 2026

Diterbitkan:

Cetak:

26 Juni 2026

Online

29 Juni 2026

Abstract: Passive cooling is a critical strategy for reducing energy consumption in buildings located in hot-humid tropical climates, where cooling demand is strongly influenced by both solar heat gains and internal loads from artificial lighting. While daylight-oriented façade design is widely studied for visual comfort, its contribution to reducing lighting-related internal heat gains remains insufficiently explored. This study investigates the relationship between daylight illuminance and internal heat gains from artificial lighting through a simulation-based assessment of a representative tropical room model. Using DIALux, a single office-like space (4 m × 5 m) was simulated under 24 façade configurations derived from variations in window-to-wall ratio (20%, 40%, and 60%), façade orientation (north, south, east, and west), and shading condition (shaded and unshaded).

Daylight simulations were conducted on 21 March and 21 June between 08:00 and 16:00. Illuminance results were compared against a 500 lux task-plane threshold to determine the number of lamps required, which was then used as an indicator of lighting energy use and associated internal heat gains. The results show that small openings (20% WWR) consistently require the highest artificial lighting across all orientations. Larger openings do not automatically guarantee daylight sufficiency, particularly for east- and west-facing façades after midday. Shading was found to reduce excessive solar exposure but, in some cases, increased lighting demand due to uneven daylight distribution. Overall, north- and south-facing façades demonstrated superior performance. The study concludes that integrating daylight illuminance analysis with lighting-related heat gain assessment provides a practical framework for linking visual performance and passive cooling strategies in tropical architecture.

Keyword: *daylight illuminance, internal heat gain, shading device, tropical climate*

Abstrak: Pendinginan pasif merupakan strategi penting untuk mengurangi konsumsi energi pada bangunan yang berlokasi di iklim tropis panas-lembap, di mana kebutuhan pendinginan sangat dipengaruhi oleh perolehan panas matahari dan beban internal dari pencahayaan buatan. Sementara desain fasad berorientasi pencahayaan alami telah banyak dikaji dalam konteks kenyamanan visual, kontribusinya terhadap pengurangan beban panas internal yang berasal dari pencahayaan buatan masih belum cukup dieksplorasi. Penelitian ini menyelidiki hubungan antara iluminansi pencahayaan alami dan beban panas internal dari pencahayaan buatan melalui penilaian berbasis simulasi terhadap model ruang tropis yang representatif. Dengan menggunakan DIALux, satu ruang tipe kantor (4 m × 5 m) disimulasikan di bawah 24 konfigurasi fasad yang berasal dari variasi rasio jendela terhadap dinding (20%, 40%, dan 60%), orientasi fasad (utara, selatan, timur, dan barat), serta kondisi peneduhan (dengan peneduhan dan tanpa peneduhan).

Simulasi pencahayaan alami dilakukan pada tanggal 21 Maret dan 21 Juni antara pukul 08.00 hingga 16.00. Hasil iluminansi dibandingkan dengan ambang batas bidang kerja sebesar 500 lux untuk menentukan jumlah lampu yang dibutuhkan, yang kemudian digunakan sebagai indikator penggunaan energi pencahayaan dan beban panas internal yang terkait. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bukaan kecil (WWR 20%) secara konsisten memerlukan pencahayaan buatan paling tinggi di semua orientasi. Bukaan yang lebih besar tidak secara otomatis menjamin kecukupan pencahayaan alami, khususnya pada fasad yang menghadap timur dan barat setelah tengah hari. Peneduhan ditemukan mampu mengurangi paparan radiasi matahari berlebih, namun dalam beberapa kasus justru meningkatkan kebutuhan pencahayaan akibat distribusi cahaya alami yang tidak merata. Secara keseluruhan, fasad yang menghadap utara dan selatan menunjukkan kinerja yang lebih unggul. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi analisis iluminansi pencahayaan alami dengan penilaian beban panas dari pencahayaan memberikan kerangka kerja praktis untuk menghubungkan kinerja visual dan strategi pendinginan pasif dalam arsitektur tropis.

Kata Kunci: *iluminansi pencahayaan alami, beban panas internal, perangkat peneduh, iklim tropis*

PENDAHULUAN

Pendinginan pasif dikenal sebagai salah satu strategi untuk meminimalkan penggunaan energi [1]. Hal ini meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan, khususnya di iklim tropis panas–lembap di mana beban pendinginan mendominasi penggunaan energi tahunan. Karakteristik iklim tersebut adalah suhu lingkungan yang tinggi, kelembapan yang tinggi, serta radiasi matahari yang intens sepanjang tahun [2]. Kondisi ini menyebabkan ketergantungan yang kuat pada pendingin udara mekanis, serta meningkatkan permintaan listrik puncak dan emisi gas rumah kaca. Integrasi strategi pendinginan pasif ke dalam desain arsitektur telah menjadi salah satu agenda utama dalam arsitektur tropis berkelanjutan dan kebijakan desain yang responsif terhadap iklim.

Penelitian terbaru mengenai pendinginan pasif telah mengeksplorasi strategi seperti optimasi orientasi bangunan, peningkatan ventilasi alami, perbaikan insulasi selubung bangunan, material dengan reflektansi tinggi, serta perangkat peneduh [3] untuk membatasi perolehan panas matahari dan meningkatkan kinerja termal. Namun, sebagian besar kajian ini memprioritaskan simulasi termal dan aliran udara [4]. Interaksi antara desain pencahayaan, beban panas internal dari pencahayaan buatan, dan kebutuhan pendinginan sering kali kurang dipertimbangkan atau hanya dibahas pada tingkat keseimbangan energi tanpa analisis pencahayaan alami yang rinci [5]. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian dalam mengkaji bagaimana konfigurasi fasad dan peneduhan yang dioptimalkan untuk iluminansi pencahayaan alami dapat secara simultan berkontribusi terhadap penurunan beban panas internal dan pengurangan beban pendinginan pada bangunan tropis.

Korelasi antara pencahayaan alami dan pendinginan pasif dapat dikonseptualisasikan melalui peran ganda sistem bukaan, yang mengendalikan baik perolehan panas matahari maupun ketersediaan pencahayaan alami. Ketika pencahayaan alami menyediakan iluminansi yang memadai di dalam ruang, pencahayaan buatan dapat direduksi atau dimatikan, sehingga mengurangi penggunaan daya listrik yang sebaliknya akan dikonversi menjadi panas internal dan menambah beban pendinginan. Dengan menggunakan pendekatan berbasis simulasi, hasil iluminansi dari perangkat lunak pencahayaan dapat dikombinasikan dengan perhitungan sederhana energi pencahayaan dan perolehan panas untuk memperkirakan bagaimana berbagai konfigurasi fasad dan peneduhan memengaruhi baik kinerja visual maupun beban internal yang terkait dengan pendinginan.

Dalam konteks ini, tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi bagaimana variasi desain fasad dan peneduhan memengaruhi iluminansi pencahayaan alami serta penurunan terkait pada beban panas internal dari pencahayaan dalam suatu ruang tropis yang representatif. Penelitian ini mengusulkan penggunaan iluminansi sebagai variabel mediasi

yang menghubungkan keputusan desain berbasis pencahayaan alami dengan kebutuhan pendinginan, sehingga menawarkan pandangan yang lebih terintegrasi antara kinerja visual dan termal. Kebaruan pendekatan ini terletak pada integrasinya terhadap iluminansi, yang secara tradisional dianggap sebagai kriteria kenyamanan visual, ke dalam kerangka yang lebih luas yang juga memanfaatkannya sebagai metrik untuk mengevaluasi strategi mitigasi beban pendinginan, sehingga memperluas simulasi pencahayaan alami melampaui penilaian yang berorientasi pada pencahayaan semata dan menempatkannya sebagai komponen kunci dalam pengembangan arsitektur tropis yang sadar energi.

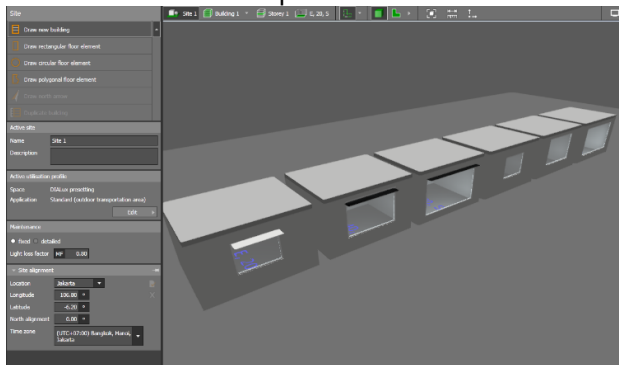
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif berbasis simulasi untuk menghubungkan kinerja pencahayaan alami dengan indikator beban panas internal yang terkait dengan pendinginan pada suatu ruang tropis tipikal. Pendekatan ini terdiri dari penentuan ruang acuan tipe kantor, penyusunan 24 kombinasi fasad–peneduhan, serta pelaksanaan simulasi pencahayaan alami untuk setiap kombinasi pada hari-hari terpilih dan jam kerja. Keluaran iluminansi kemudian diterjemahkan menjadi penggunaan energi pencahayaan dan metrik beban panas internal, yang digunakan untuk membandingkan implikasi terkait pendinginan dari setiap skenario desain. Variabel independen meliputi rasio jendela terhadap dinding, orientasi jendela, dan kondisi peneduhan, yang menghasilkan $3 \times 4 \times 2 = 24$ kombinasi. Metrik dependen meliputi: iluminansi bidang kerja (lux) dan estimasi pencahayaan buatan yang diturunkan dari daya pencahayaan. Ruang acuan merupakan satu ruang tunggal berbentuk persegi panjang tipe kantor dengan luas lantai sekitar $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ dan tinggi bersih 3 m , dengan satu fasad eksternal dan tiga sisi adiabatik.

Simulasi dilakukan untuk dua tanggal representatif: 21 Maret (ekuinox) dan 21 Juni (solstis), yang merepresentasikan kondisi tipikal dan kondisi ketinggian matahari tinggi dalam konteks tropis selama jam kerja dari pukul 08.00 hingga 16.00. Untuk setiap kombinasi dan tanggal, iluminansi pada bidang kerja dihitung pada interval waktu yang teratur dalam periode tersebut. Hasil iluminansi dibandingkan dengan ambang batas target pada bidang kerja untuk mengidentifikasi jam-jam ketika pencahayaan buatan diperlukan; jam-jam ini kemudian dikonversi menjadi kebutuhan energi pencahayaan menggunakan asumsi kepadatan daya pencahayaan dan logika kontrol sederhana hidup/mati.

Tahap akhir melibatkan agregasi hasil pada seluruh jam dan tanggal untuk masing-masing dari 24 kombinasi serta membandingkannya dalam hal kecukupan pencahayaan alami dan penggunaan pencahayaan. Konfigurasi yang mampu mempertahankan iluminansi yang memadai selama sebagian besar periode 08.00–16.00 sekaligus meminimalkan beban panas yang terkait dengan

pencahayaan diidentifikasi sebagai yang paling menguntungkan dari perspektif pencahayaan alami-pendinginan. Prosedur ini memungkinkan penelitian untuk menyimpulkan kontribusi relatif dari desain fasad berorientasi pencahayaan alami terhadap mitigasi beban pendinginan tanpa melakukan simulasi termal secara penuh.



Gambar 1. Ruang dengan variasi rasio jendela terhadap dinding, orientasi, serta kondisi dengan peneduhhan dan tanpa peneduhhan

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Simulasi ini berfokus pada distribusi pencahayaan di dalam ruang. Sebuah ruang seluas 20 m² dilengkapi dengan 4 lampu untuk memperoleh intensitas cahaya sebesar 500 lux. Jumlah lampu yang digunakan ditentukan dengan mengamati distribusi cahaya di dalam ruang. Diasumsikan bahwa satu lampu dapat menerangi seperempat luas ruang, atau 5 m². Jika intensitas cahaya kurang dari 500 lux, maka lampu akan dinyalakan. Kinerja dinilai berdasarkan jumlah minimum lampu yang dinyalakan serta korelasinya dengan peneduhhan dan orientasi fasad.

Secara umum, untuk semua orientasi dan bulan simulasi, fasad dengan WWR 20%, baik tanpa peneduhhan maupun dengan peneduhhan, memerlukan pencahayaan paling banyak sepanjang hari, yaitu sebanyak 2–4 lampu.

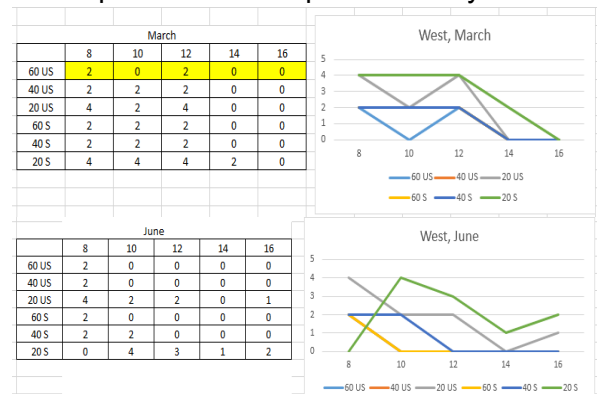


Gambar 2. Penggunaan Lampu pada Orientasi Timur pada Bulan Maret dan Juni

Berdasarkan Gambar 2, pada bulan Maret, pada sisi timur, fasad dengan WWR 40% dan peneduhhan memerlukan lebih banyak lampu dibandingkan WWR 40% tanpa peneduhhan pada pukul 12.00. Pada pukul 14.00 dan 16.00, kebutuhan pencahayaan kembali menjadi sama. Berdasarkan penelitian sebelumnya,

peneduh horizontal merupakan bentuk yang efektif ketika matahari berada pada sudut tinggi. Hal ini menjadi keuntungan dalam mengurangi radiasi matahari yang masuk, namun cahaya matahari tidak masuk secara merata ke dalam ruang sehingga memerlukan lampu untuk dinyalakan. Untuk WWR 60%, baik dengan peneduhhan maupun tanpa peneduhhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa lampu dinyalakan mulai pukul 12.00 hingga 16.00 karena intensitas distribusi cahaya di dalam ruang kurang dari 500 lux. Bukaan besar secara mengejutkan tidak menjamin kecukupan pencahayaan meskipun dalam kondisi dengan atau tanpa peneduhhan. Bukaan yang menghadap timur setelah pukul 12.00 hanya menerima cahaya langit (skylight), bukan sinar matahari langsung.

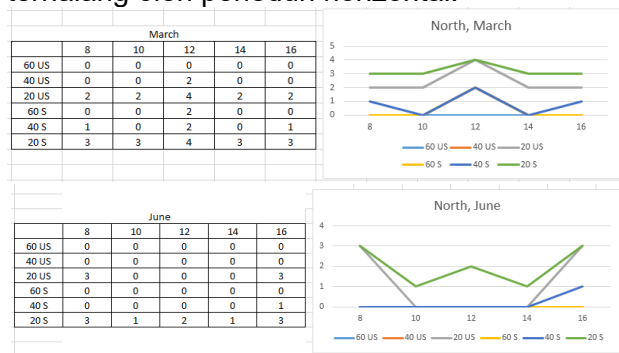
Pada bulan Juni, fasad dengan WWR 40% dan peneduhhan menyebabkan lampu dinyalakan setelah pukul 12.00. Kebutuhan pencahayaan yang harus dinyalakan adalah 2 lampu hingga pukul 16.00. Kondisi WWR 40% tanpa peneduhhan lebih baik, mempertahankan 1 lampu menyala hingga pukul 16.00, setelah itu 2 lampu dinyalakan. Bukaan WWR 60% tanpa peneduhhan berhasil mempertahankan lampu tetap mati sepanjang hari dari pukul 08.00 hingga 16.00. Ketika diberi peneduhhan, WWR 60% justru menyebabkan 2 lampu dinyalakan pada pukul 14.00 hingga 16.00. Bukaan yang menghadap timur memiliki risiko paparan matahari bersudut rendah. WWR kecil kurang mampu mencapai intensitas pencahayaan ruang yang diinginkan. Hal ini berlaku baik dengan peneduhhan maupun tanpa peneduhhan. Peningkatan WWR menjadi 40% dan 60% secara mengejutkan tidak memberikan perubahan signifikan, hanya pada pukul 08.00–10.00 lampu sepenuhnya mati, kemudian setelah pukul 12.00 lampu harus dinyalakan.



Gambar 3. Penggunaan Lampu pada Orientasi Barat pada Bulan Maret dan Juni

Pada Gambar 3, pada fasad barat, kondisi berbanding terbalik dengan sisi timur. Konfigurasi dengan WWR 40%, baik tanpa

peneduhan maupun dengan peneduhan, tidak menunjukkan perbedaan signifikan dalam jumlah lampu yang aktif. Setelah pukul 12.00, tidak diperlukan lampu. Untuk WWR 60% tanpa peneduhan, tidak ada lampu yang aktif pada pukul 10.00, namun kembali menyala setelah pukul 12.00 dan kembali mati pada pukul 16.00. Pada kondisi WWR 60% dengan peneduhan, lampu beroperasi dari pukul 08.00 hingga 12.00 dan tetap mati setelahnya hingga pukul 16.00. Kondisi pada bulan Juni sedikit berbeda, di mana beberapa konfigurasi WWR dan peneduhan menyebabkan lampu tidak aktif sebelum tengah hari. Pemadaman lampu terjadi satu jam lebih awal pada bulan Juni dibandingkan bulan Maret, yang disebabkan oleh sudut kemiringan matahari yang lebih rendah. Pada bulan Maret, sudut lintasan matahari yang tinggi memungkinkan peneduh horizontal secara efektif menghalangi penetrasi cahaya; sedangkan pada bulan Juni, sudut matahari yang lebih rendah memungkinkan cahaya matahari menembus lebih dalam tanpa terhalang oleh peneduh horizontal.

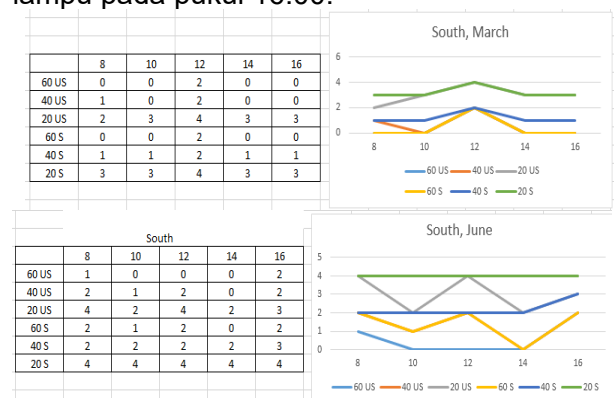


Gambar 4. Penggunaan Lampu pada Orientasi Utara pada Bulan Maret dan Juni

Pada fasad utara pada bulan Maret (Gambar 4), konfigurasi WWR 40% tanpa peneduhan menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan dengan varian yang diberi peneduhan. Keunggulan ini terlihat dari jumlah lampu yang tidak aktif yang lebih banyak selama jam pengukuran. Pada kondisi tanpa peneduhan, lampu tetap mati hingga pukul 12.00, setelah itu dua lampu diperlukan sebelum kembali dimatikan. Konfigurasi dengan peneduhan menyalakan dua lampu pada pukul 08.00, kemudian mematikannya, menyalakannya kembali pada pukul 12.00, dan tetap mati hingga pukul 16.00. Konfigurasi WWR 60% tanpa peneduhan mencapai kemandirian pencahayaan sepanjang hari. Sebaliknya, varian dengan peneduhan secara intermiten memerlukan dua lampu. Analisis berbagai kinerja fasad utara menunjukkan adanya lonjakan kebutuhan pencahayaan pada pukul 12.00. Fenomena ini

terjadi akibat posisi matahari yang tepat berada di atas ruang, sehingga cahaya yang masuk didominasi oleh cahaya langit (skylight) dibandingkan radiasi matahari langsung. Perbedaan antara konfigurasi dengan dan tanpa peneduhan terlihat pada jumlah lampu yang aktif, di mana peneduhan secara paradoks justru meningkatkan kebutuhan pencahayaan dibandingkan kondisi tanpa peneduhan. Oleh karena itu, penerapan peneduhan memerlukan pertimbangan yang cermat terhadap orientasi bukaan. Namun demikian, bukaan yang terlalu besar juga memiliki risiko terhadap masuknya panas dari luar. Radiasi matahari membawa energi termal yang dapat meningkatkan suhu dalam ruang. Pengamatan pada kondisi iluminansi tinggi yang melebihi 500 lux secara konsisten menunjukkan adanya radiasi panas yang menyertainya.

Pada bulan Juni, tingkat aktivasi lampu mencapai nilai minimum di seluruh konfigurasi. Baik WWR 40% maupun 60% menunjukkan kinerja yang setara. Hanya konfigurasi WWR 40% dengan peneduhan yang memerlukan satu lampu pada pukul 16.00.



Gambar 5. Penggunaan Lampu pada Orientasi Selatan pada Bulan Maret dan Juni

Pada fasad selatan pada bulan Maret, konfigurasi WWR 40% tanpa peneduhan, WWR 60% tanpa peneduhan, dan WWR 60% dengan peneduhan menunjukkan kinerja yang setara, dengan kondisi tanpa penggunaan lampu sepanjang hari, kecuali kebutuhan dua lampu hanya pada pukul 12.00. Kinerja menurun pada konfigurasi WWR 40% dengan peneduhan, di mana satu lampu menyala secara kontinu dan meningkat menjadi dua lampu pada pukul 12.00.

Pada bulan Juni, konfigurasi WWR 40% dengan peneduhan menunjukkan kinerja terburuk, dengan dua lampu menyala sepanjang hari dan meningkat menjadi tiga lampu pada pukul 16.00. Varian WWR 40% tanpa peneduhan dan WWR 60% dengan peneduhan menunjukkan kinerja yang sebanding, yang ditandai dengan penggunaan lampu yang berfluktuasi.

Konfigurasi WWR 60% tanpa peneduhan mencapai kinerja optimal pada fasad selatan, dengan jumlah lampu aktif paling sedikit secara keseluruhan.

KESIMPULAN

Dari perspektif orientasi, fasad utara menunjukkan kinerja paling unggul di antara berbagai konfigurasi WWR, dengan mencapai penggunaan pencahayaan paling minimal pada berbagai ukuran bukaan dan penerapan peneduhan. Fasad selatan juga menunjukkan kinerja yang baik, dengan tiga konfigurasi yang membatasi jumlah maksimum lampu aktif hingga dua unit sepanjang hari.

Dari sudut pandang persentase WWR dan konfigurasi peneduhan, varian WWR 60% dengan peneduhan muncul sebagai yang paling efektif dalam meminimalkan kebutuhan pencahayaan buatan di dalam ruang, dengan aktivasi maksimum dua lampu. Pada kenyataannya, konfigurasi WWR 40% dan 60% tanpa peneduhan menunjukkan kemampuan yang lebih unggul dibandingkan dengan WWR 60% dengan peneduhan. Keunggulan ini berasal dari keberhasilannya dalam membatasi seluruh orientasi hanya hingga dua lampu; namun demikian, ketiadaan peneduhan menyebabkan perolehan panas matahari yang berlebihan. Oleh karena itu, peneduhan memiliki fungsi krusial dalam menyeimbangkan efek bukaan besar—melindungi dari perolehan panas matahari yang berlebih sekaligus meminimalkan penggunaan pencahayaan. Pengurangan ketergantungan terhadap pencahayaan ini pada akhirnya menurunkan beban panas internal yang berasal dari operasi lampu.

DAFTAR PUSTAKA

- Nqoro, X., Taziwa, R., Hasheni, T., & Giwa, S. (2025). Emerging Passive Cooling Technologies and Their Multidisciplinary Applications: An Integrative Review. *International Journal of Energy Research*. John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1155/er/3489021>
- Hatoum, H., Younes, J., Ghali, K., & Ghaddar, N. (2025). Enhancing outdoor thermal comfort in hot humid climates by forming dry cool region under canopy using desiccant-evaporative cooling system. *Building and Environment*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112876>
- Manshour, S., & Lehmann, S. (2025). A Systematic Review of Passive Cooling Strategies Integrating Traditional Wisdom and Modern Innovations for Sustainable Development in Arid Urban Environments. *Frontiers in Built Environment*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/393685866>

- Iskandar, L., Bay-Sahin, E., Martinez-Molina, A., & Beeson, S. T. (2024). Evaluation of passive cooling through natural ventilation strategies in historic residential buildings using CFD simulations. *Energy and buildings*, 308, 114005.
- Sezgen, O., & Koomey, J. G. (2000). Interactions between lighting and space conditioning energy use in US commercial buildings. *Energy*, 25(8), 793-805