

Jurnal Kejuruteraan 37(5) 2025: 2059-2070
[https://doi.org/10.17576/jkukm-2025-37\(5\)-02](https://doi.org/10.17576/jkukm-2025-37(5)-02)

Penggunaan Dinding Kaca Condong Sebagai Mukaan Bangunan dalam Iklim Tropika

(Application of Inclined Glass Wall as Building Facade under Tropical Climate Conditions)

Brigette Leja Binyas^a, Mohd Khairul Azhar Mat Sulaiman^{a,b,*}, Nor Hazwani Hembali^a, Arierafida Abdul Rauf^a, Ahmed B. Ayyash^{a,c} & Wang Wei^{a,d}

^aJabatan Seni Bina dan Alam Bina, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Malaysia.

^bSERAMBI (KPU Senibina dan Alam Bina Inovatif),
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Malaysia.

^cCollege of Engineering, Al-Iraqia University, Saba'a Abkar, Baghdad 10054, Iraq

^dSchool of Continuing Education, Sichuan University of Science & Engineering,
643000, Zigong, Sichuan China.

*Corresponding author: m.khairulazhar@ukm.edu.my

Received 23 November 2024, Received in revised form 26 February 2025

Accepted 26 March 2025, Available online 30 August 2025

ABSTRACT

Reka bentuk geometri mukaian bangunan terutamanya dalam penggunaan kaca sebagai bahan utama didapati mampu mengurangkan beban penyejukan sesebuah bangunan sekiranya direka bentuk dengan tepat terutamanya dalam iklim tropika Malaysia. Kajian ini bertujuan untuk mengukur prestasi termal dinding kaca condong dengan pelbagai sudut dan orientasi dalam meminimumkan penyerapan haba suria dalam sesebuah bangunan. Kajian menggunakan perisian simulasi Integrated Environmental Solutions - Virtual Environment (IES-VE) dengan 32 model disimulasikan dengan menggunakan modul ApacheSim bagi melihat sudut dan orientasi dinding kaca condong yang efektif dalam mencapai keselesaan termal. Keputusan mendedahkan bahawa sudut optimum dinding kaca condong bagi setiap orientasi bergantung pada laluan matahari semasa empat (4) tarikh reka bentuk - 21 Mac, 21 Jun, 21 September dan 21 Disember. Berdasarkan tarikh reka bentuk, dinding kaca condong 55° memberikan prestasi termal yang terbaik bagi semua orientasi kecuali untuk orientasi yang terdedah kepada sinaran matahari melampau disebabkan laluan matahari pada tarikh reka bentuk yang diukur. Pada setiap tarikh reka bentuk, dinding kaca dengan kecondongan 75° adalah lebih berkesan. Bagi meningkatkan prestasi dinding kaca condong secara optimum, reka bentuk disarankan mempertimbangkan bahan binaan beralbedo rendah pada mukaian penutup bumi di sekitar bangunan. Ini bagi mengurangkan pemantulan haba yang boleh memberikan kesan kepada prestasi termal pada permukaan dinding kaca condong. Juga saranan kepada reka bentuk landskap dan pengaliran udara di sekitar permukaan luaran bangunan dapat membantu prestasi termal yang lebih efektif. Justeru itu, aplikasi dinding kaca condong terbukti berkesan dalam menjimatkan tenaga bangunan, namun, bahan turapan sekitar bangunan juga perlu diambil kira pada peringkat awal reka bentuk.

Kata kunci: Dinding kaca condong; penyerapan haba suria; simulasi; prestasi termal; iklim tropika

ABSTRACT

The geometric design of the building's exterior, particularly using glass as the main building material, was found to be able to reduce the cooling load of a building, especially in the tropical climate of Malaysia. This study aims to measure the thermal performance of inclined glass walls with various angles and orientations in minimizing solar heat absorption in a building. This study uses Integrated Environmental Solutions - Virtual Environment (IES-VE) simulation software with 32 models simulated using the ApacheSim module to investigate the most effective angle and orientation of inclined glass walls in achieving thermal comfort. The results revealed that the optimum angle for each orientation depended on the sun's path during the four (4) design days - 21st March, 21st June, 21st September, and 21st December. Throughout all design dates, the 55° inclined glass wall provided the best thermal performance for all orientations except for those exposed to extreme solar radiation due to the sun's path on the measured dates. The 75° inclined glass wall is more effective at each design date. To optimize the inclined glass wall's performance, the design is recommended to consider low-albedo material on the surface around the building. This is to reduce heat reflection which can affect the thermal performance of the inclined glass wall surface. Also, landscape design and airflow around the building's exterior surfaces can help with more effective thermal performance. Therefore, the application of inclined glass walls is proven to be effective in reducing building energy, however, the surrounding pavement material should also be considered at the early stage of design.

Keywords: Inclined glass wall; solar heat gain; simulation; thermal performance; tropical climate

PENGENALAN

Penyerapan haba suria dalam bangunan menjadi kebimbangan utama terutamanya dalam persekitaran iklim tropika. Hal ini kerana, bangunan di kawasan beriklim tropika kebiasaannya terdedah kepada tahap sinaran matahari yang tinggi, menyebabkan peningkatan dalam penggunaan tenaga bangunan untuk penyejukan bangunan (Wicaksono & Purwanto 2022). Menurut Deal et al. (1998), penyerapan haba suria merujuk kepada jumlah haba yang diserap daripada sinaran matahari langsung dan akhirnya merebak ke bahagian dalam bangunan. Penggunaan kaca yang berlebihan pada muka bangunan boleh menjejaskan keselesaan termal di dalam sesuatu ruang dan seterusnya meningkatkan beban penyejukan.

Tidak dinafikan bahawa penggunaan panel kaca mampu memberikan kesan estetik kepada reka bentuk muka bangunan yang pelbagai dari segi reka bentuk muka yang unik serta warna yang menarik selain daripada mewujudkan kesinambungan antara ruang dalaman dan luaran bangunan. Pada masa yang sama, muka kaca dapat memberikan pencahayaan semula jadi yang optimum dan mengurangkan keperluan pencahayaan buatan (Singh & Garg 2011; Badri et al. 2022). Oleh itu, penyelesaian untuk mencari keseimbangan antara estetik dan penggunaan tenaga merupakan isu yang perlu dikaji.

Terdapat pelbagai cara bagi menangani isu peningkatan haba di dalam bangunan, antaranya ialah melalui strategi reka bentuk pasif. Pendekatan pasif merupakan salah satu cara inovatif untuk mereka bangunan mampan yang berkesan dari segi penggunaan tenaga bagi mengurangkan kesan negatif terhadap alam sekitar. Penggunaan dinding

condong misalnya, adalah strategi reka bentuk pasif yang efektif dalam mengurangkan kesan sinaran matahari terus ke atas muka bangunan dan secara langsung mengurangkan penyerapan haba suria ke dalam bangunan, terutamanya dalam konteks iklim tropika (Kandar et al. 2019; Chia, 2008).

KONTEKS IKLIM MALAYSIA

Peningkatan haba suria ke dalam bangunan dipengaruhi oleh keadaan iklim. Malaysia terletak di kawasan Khatulistiwa (3°10'N, 101°64'E) dan mengalami iklim tropika (Af) yang panas dan lembap sepanjang tahun. Malaysia menerima lebih daripada 4.31 kWj/m² sinaran tahunan, dan purata sinaran suria sebulan adalah antara 4 kWj/m² hingga 4.6 kWj/m² (Qahtan, 2024). Tempoh sinaran matahari adalah kira-kira 10 jam sehari dan berbeza dari 9 jam hingga 13 jam sebulan (Qahtan, 2024). Menurut Piawai Malaysia MS 1525:2019, penanda aras bagi keamatan tenaga bangunan adalah 200 kWj/m² setahun. Namun, sinaran suria pada muka bangunan di Malaysia berada dalam julat 250 kWj/m² sehingga 300 kWj/m² sepanjang tahun yang membawa kepada peningkatan suhu dalam bangunan (Qahtan 2024). Oleh yang demikian, pendekatan pasif dalam reka bentuk bangunan mesti disertakan untuk memastikan keadaan dalaman adalah memuaskan dan memenuhi keperluan yang digariskan oleh Piawai Malaysia MS 1525:2019 terutamanya kepada bangunan yang menggunakan kaca sebagai bahan utama sebagai muka bangunan.

APLIKASI DINDING KACA CONDONG

Di negara tropika seperti Malaysia, pendedahan sinaran suria kepada permukaan bangunan terutamanya lapisan kaca boleh mengakibatkan ketidakselesaan termal di dalam bangunan. Grablow (2020); Wellun et al. (2023) menjelaskan bahawa apabila kaca menyerap tenaga suria, pemanasan dan pengaliran haba berlaku. Akibatnya, sebahagian haba yang terkumpul di dalam kaca dilepaskan ke ruang dalaman bangunan, menyebabkan peningkatan suhu udara dalaman. Pelbagai usaha telah dibuat untuk mengurangkan kelemahan yang berkaitan dengan bangunan kaca sambil mengekalkan elemen estetik bangunan. Antaranya ialah penggunaan kaca reflektif dan penyepaduan mukaan teduhan semula jadi.

Dalam skop kajian ini, aplikasi kaca reflektif dibincangkan dengan tumpuan khusus pada pelaksanaannya dalam bangunan. Kajian kepustakaan yang komprehensif oleh Al-Tamimi dan Qahtan (2016), Singh dan Garg (2011) dan Guan (2011) memberikan gambaran menyeluruh tentang keberkesanan kaca reflektif berbanding kaca yang lain. Tambahan pula, penggunaan dinding kaca condong yang mempunyai sifat teduhan semula jadi merupakan penyelesaian yang ketara dalam iklim panas dan lembap Malaysia. Beberapa kajian telah dijalankan atas prestasi termal bagi bangunan berdinding condong yang memberi kesan teduhan semula jadi. Kajian simulasi oleh Kandar et al. (2019) telah menilai keadaan prestasi termal dinding kaca condong pada Bangunan Suruhanjaya Tenaga, Putrajaya, Malaysia. Keputusan mendapati penyerapan haba suria berkurang dengan peningkatan unjuran teduhan semula jadi. Dalam kajian Qahtan (2024), suhu permukaan kaca pada orientasi Selatan (dinding condong bersudut 55° dan 65°) adalah selari dengan suhu udara luar, hasil daripada kesan teduhan semula jadi. Namun, pada orientasi Barat, walaupun strategi dinding condong digunakan, masih terdapat peningkatan suhu yang mencecah 44.4%.

Justeru itu, kajian ini bertujuan untuk menilai keberkesanan empat (4) sudut dinding kaca condong (55°, 65°, 75° dan 90°) ke atas lapan (8) arah kardinal (Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat dan Barat Laut) dalam mengurangkan penyerapan haba suria dan seterusnya, meningkatkan kecekapan tenaga bangunan. Kajian ini memberi penekanan khusus pada penyepaduan dinding condong dan kaca reflektif dengan ketebalan 6 mm, dan didorong oleh satu objektif utama iaitu mengukur prestasi termal bagi dinding kaca condong dengan pelbagai sudut dan orientasi di iklim tropika Malaysia.

Hasil kajian ini dapat membantu arkitek dan pereka bangunan mengenal pasti sudut dinding kaca condong yang sesuai diaplikasikan dalam orientasi tertentu bagi memastikan prestasi bangunan berada pada tahap yang ideal di samping menggunakan tenaga yang minimum untuk menyejukkan bangunan.

METODOLOGI

Bagi mencapai objektif kajian, 32 jenis model disimulasikan untuk mengkaji sudut kecondongan yang optimum dalam mengurangkan penyerapan haba suria pada setiap orientasi bangunan. Namun sebelum kajian tersebut dimulakan, kajian pengesahsahihan telah dijalankan. Pengukuran di tapak digunakan untuk mengumpul data persekitaran untuk mengesahkan perisian simulasi Integrated Environmental Solutions - Virtual Environment (IES-VE).

PENGESAHSAHIHAN SIMULASI

Ujian pengesahsahihan simulasi ini dijalankan menggunakan data suhu permukaan kaca. Pengumpulan data dijalankan selama tujuh (7) hari (19 hingga 25 Disember 2023) pada tingkap kaca bersudut 90 darjah di Bilik D2-210, Blok D2, Tingkat Dua, Kolej Pendeta Za'ba (KPZ), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi, Selangor (2.91°U, 101.77°T). Bilik kajian telah dilengkapi dengan HOB0 UX100-014M *Single Channel Thermocouple Data Logger* bagi merekodkan suhu permukaan kaca yang menghadap ke arah Selatan.

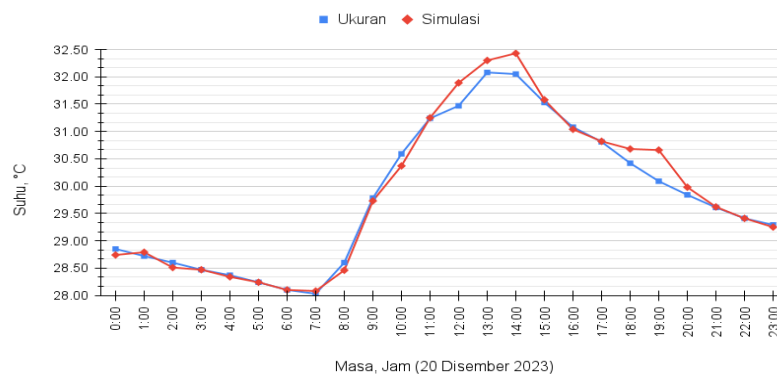
Geometri model untuk bilik kajian telah dibangunkan menggunakan perisian IES-VE di mana ukuran bangunan, bahan, orientasi dan sifat termal bangunan ditetapkan menggunakan modul ModelIT berdasarkan ciri-ciri bangunan sedia ada, seperti dalam Jadual 1. Data yang dikumpul dari pengellog data kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan suhu permukaan yang diukur dan disimulasi. Rajah 1 menunjukkan perbezaan suhu permukaan dalaman kaca yang diukur dan disimulasi serta pekali penentuan, R^2 pada salah satu hari kajian pengesahsahihan, 20 Disember 2023.

Keputusan mendedahkan R^2 bagi suhu permukaan dalaman kaca pada 19 hingga 25 Disember adalah dalam julat 0.81-0.99 menunjukkan kesamaan antara data eksperimen dan data simulasi mempunyai kesamaan sehingga 99 peratus ketepatan. Justeru itu, dapatan kajian selanjutnya melalui perisian simulasi IES-VE ini adalah boleh dipercayai.

JADUAL 1. Perincian bahan binaan bagi bilik kajian

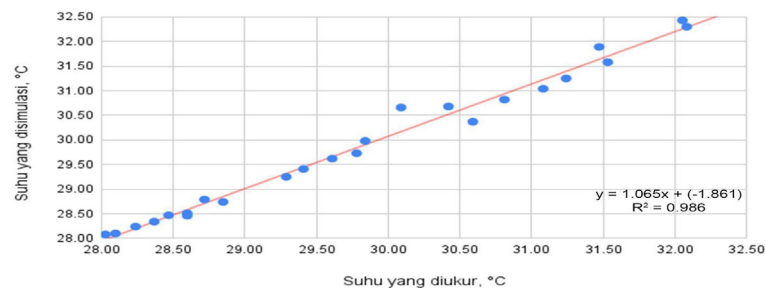
Elemen Bangunan	Bahan Binaan	Nilai-U (W/m ² k)
Dinding	Plaster simen (17.5 mm) + Binaan bata (115 mm) + Plaster simen (17.5 mm)	2.1073
Tingkap	Kaca jelas, panel tunggal (6 mm)	6.3182
Lantai	Papak konkrit bertetulang (100 mm)	2.0920

Suhu Permukaan Kaca Dalaman



(a)

Suhu Permukaan Kaca Dalaman



(b)

RAJAH 1. (a) Perbandingan keputusan kajian simulasi dan pengukuran kajian tapak serta (b) Regresi lurus bagi suhu permukaan kaca pada 20 Disember 2023.

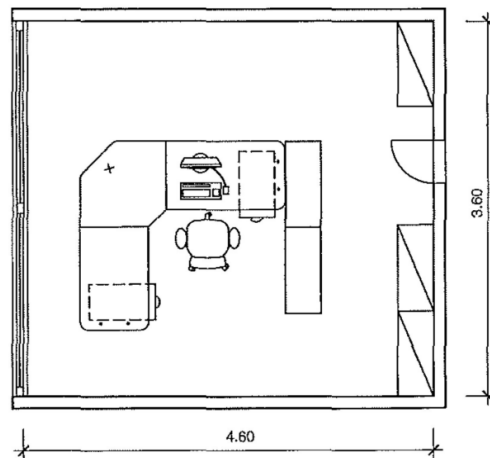
PERISIAN SIMULASI IES-VE

Kajian ini dijalankan menggunakan perisian simulasi IES-VE untuk mengkaji kesan dinding kaca condong dan penyerapan haba suria dalam bangunan yang terletak dalam iklim tropika Malaysia. Geometri asas untuk 32 model simulasi dibangunkan menggunakan SketchUp Pro 2021 dan kemudian disegerakkan dengan IES-VE melalui *plugin* SketchUp. Sebelum simulasi termal menggunakan modul Apache dijalankan, pengurusan templat bangunan digunakan untuk menentukan reka bentuk dan sifat termal bangunan.

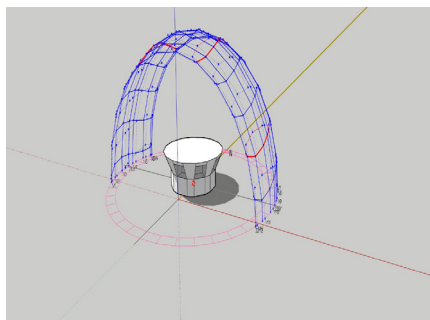
Rajah 2 menunjukkan saiz pejabat pengurusan yang digunakan dalam kajian simulasi ini, yang diambil daripada Neufert Architects' Data, Edisi ke-4 (2012). Lapangan Terbang Antarabangsa Kuala Lumpur ditetapkan melalui APlocate sebagai lokasi kajian. Jadual 2 menyenaraikan bahan binaan dan sifat termal bangunan. Profil harian bangunan ditetapkan sebagai "9 pagi hingga 5 petang dengan waktu rehat pada tengah hari". Rajah 3 menggambarkan reka bentuk model simulasi bagi dinding kaca condong bersudut 55°, 65°, 75° dan 90° dengan keluasan lantai sebanyak 16.56 m².

JADUAL 2. Perincian bahan binaan bagi model simulasi

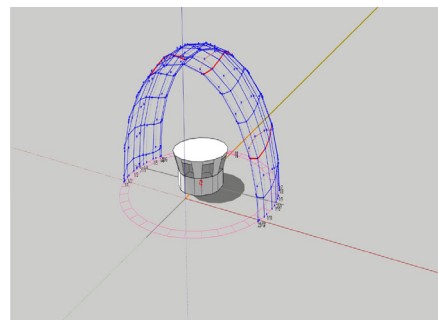
Elemen Bangunan	Bahan Binaan	Nilai-U (W/m ² k)
Dinding	Plaster simen (17.5 mm) + Binaan bata (115 mm) + Plaster simen (17.5 mm)	2.1073
Tingkap	Kaca reflektif, panel tunggal (6 mm)	5.7087
Lantai	Papak konkrit bertetulang (100 mm)	2.0920



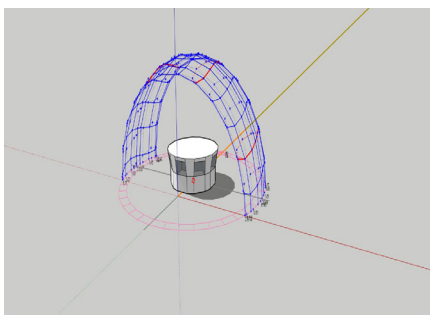
RAJAH 2. Saiz pejabat pengurusan (4.6 m x 3.6 m)



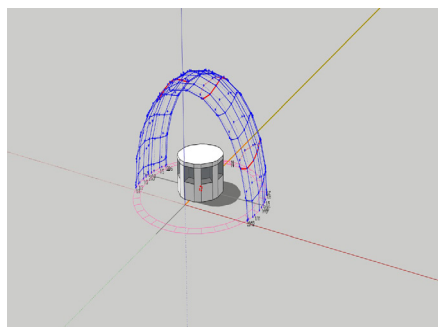
(a)



(b)



(c)



(d)

RAJAH 3. Reka bentuk model simulasi dengan sudut condong (a) 55°, (b) 65°, (c) 75° dan (d) 90° bagi arah Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat dan Barat Laut

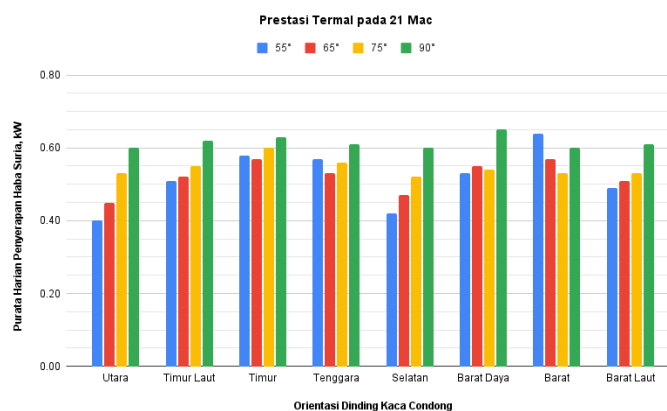
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

PRESTASI TERMAL DINDING KACA CONDONG PADA 21 MAC

Rajah 4 memberikan gambaran keseluruhan purata penyerapan haba suria pada 21 Mac bagi empat (4) sudut dinding kaca condong berdasarkan lapan (8) orientasi. Dinding kaca condong bersudut 55° memberikan prestasi termal yang terbaik bagi orientasi Utara, Timur Laut, Selatan, Barat Daya dan Barat Laut dengan jumlah penyerapan haba suria sebanyak 0.40 kW, 0.51 kW, 0.42 kW, 0.53 kW dan 0.49 kW terhadap masing-masing. Menurut Piawaian Malaysia (2019), MS 1525:2019,

penanda aras bagi keamatan tenaga bangunan adalah 200 kWh/m^2 setahun, iaitu 0.55 kWh/m^2 sehari, di mana lima (5) orientasi yang dinyatakan telah memenuhi keperluan piawaian dengan aplikasi dinding kaca condong 55° .

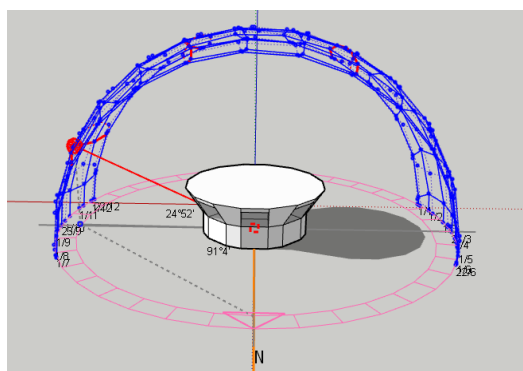
Keputusan ini dipengaruhi oleh laluan matahari Kuala Lumpur ($3^\circ 09' 36'' \text{N}$, $101^\circ 42' 36'' \text{E}$) di mana kedudukan matahari berada tepat di atas garisan Khatulistiwa. Gabungan laluan matahari pada 21 Mac dan sifat teduhan semulajadi dinding kaca condong, strategi reka bentuk pasif ini mampu mengurangkan sinaran matahari langsung ke arah Utara, Timur Laut, Selatan, Barat Daya dan Barat Laut, seperti yang digambarkan dalam Rajah 5.



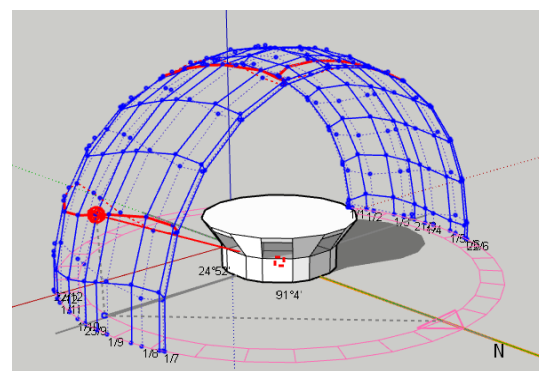
RAJAH 4. Penyerapan haba suria melalui dinding kaca condong pada 21 Mac

Dinding kaca condong 65° memberikan prestasi terbaik untuk orientasi Timur dan Tenggara, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5, dengan purata penyerapan haba suria harian 0.57 kW dan 0.53 kW masing-masing. Keputusan ini menunjukkan bahawa dinding kaca dengan kecondongan 55° yang mempunyai sifat teduhan semula jadi maksimum kurang berkesan dalam meminimumkan penyerapan haba suria ke dalam bangunan. Hal ini

disebabkan oleh kedudukan matahari yang rendah pada permulaan hari dan albedo permukaan konkrit yang tinggi serta jarak muka dinding dengan kecondongan 55° dengan muka penutup bumi adalah lebih dekat berbanding kecondongan yang lain yang menyumbang kepada sejumlah besar haba yang diserap oleh dinding kaca condong melalui sinaran suria yang dipantulkan dan dibaurkan oleh bumi.



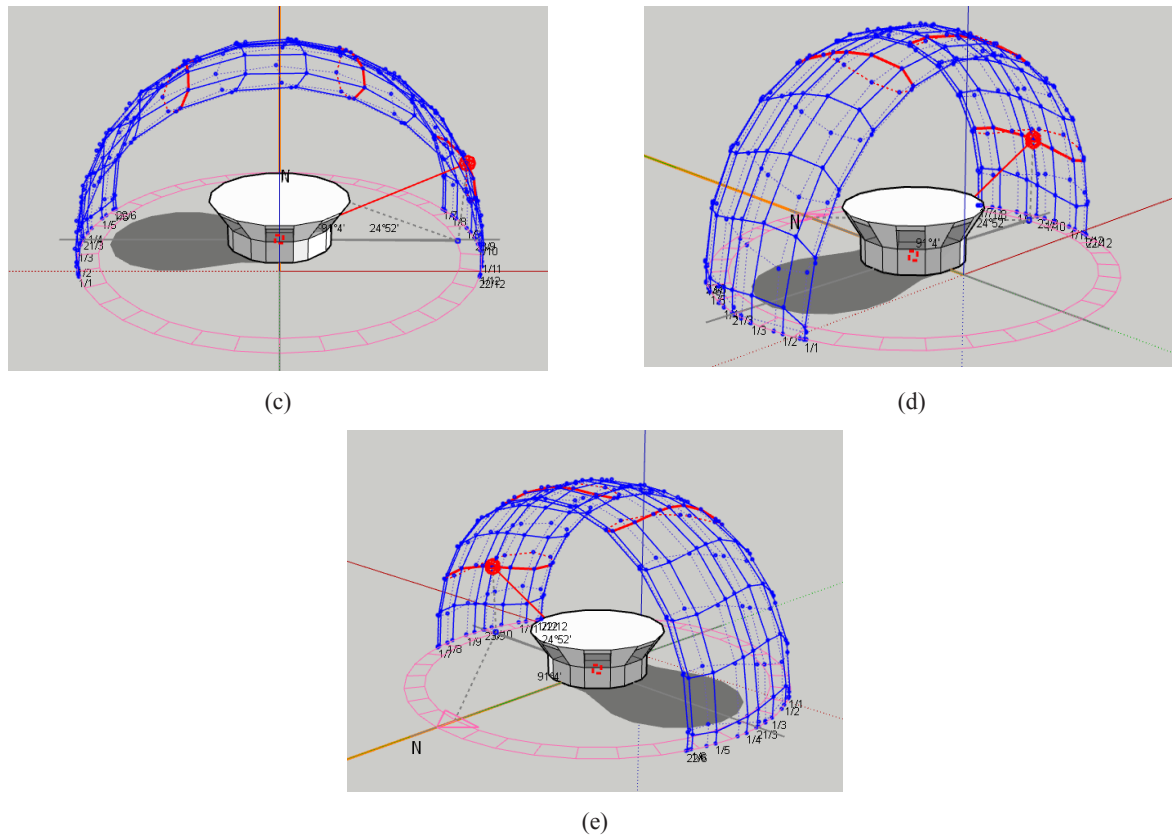
(a)



(b)

bersambung ...

... sambungan

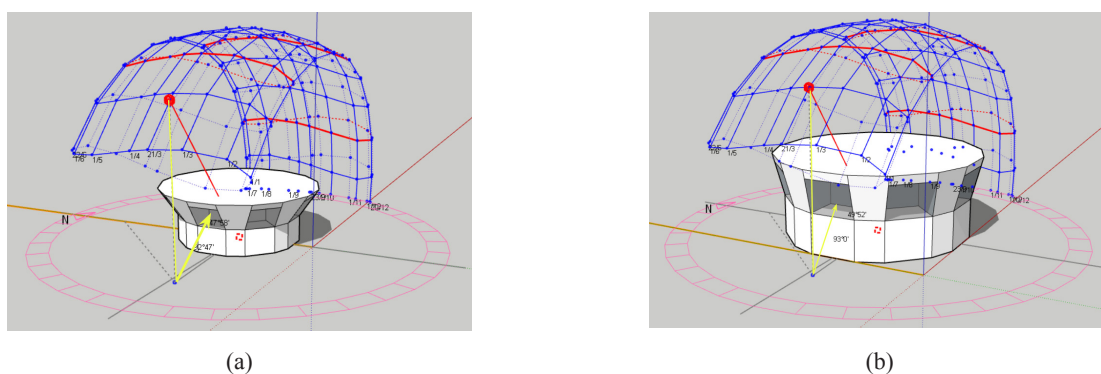


RAJAH 5. Kesan teduhan semula jadi terhadap orientasi (a) Utara; (b) Timur Laut; (c) Selatan; (d) Barat Daya; (e) Barat Laut pada 21 Mac, jam 0900

Corak yang sama berlaku di orientasi Barat di mana sudut dinding kaca condong 75° memberikan prestasi termal yang paling baik berbanding dengan 55° , iaitu hanya 0.53 kW tenaga suria yang diserap ke dalam bangunan. Walaubagaimanapun, hasil simulasi ini bercanggah dengan kajian Kandar et al. (2019), di mana pada orientasi Barat, dinding condong 55° dan 65° memberikan prestasi termal yang terbaik (0.00 kW bagi kedua-dua sudut dinding kaca condong) manakala dinding condong bersudut 75° dan 90°

merekodkan penyerapan haba suria yang tinggi iaitu sebanyak 0.55 kW dan 0.60 kW masing-masing.

Kesilapan tetapan model dalam perisian simulasi IES-VE dipercayai punca utama hasil kajian tersebut diragui. Sebaliknya, dalam kajian ini, dinding kaca condong 55° bagi orientasi Barat merekodkan tenaga suria yang paling tinggi (0.64 kW) disebabkan sinaran matahari langsung pada sebelah petang (1300-1900) serta sinaran matahari yang dibaurkan dan dipantulkan yang telah berlaku pada waktu pagi seperti dalam Rajah 6a.



RAJAH 6. Kesan teduhan semula jadi terhadap orientasi Barat (jam 1600) bagi sudut dinding kaca condong (a) 55° dan (b) 75°

Selain itu, albedo juga memainkan peranan utama dalam penyerapan haba suria ke dalam bangunan. Permukaan atau turapan bumi dengan albedo tinggi akan memantulkan lebih banyak sinaran matahari berbanding permukaan dengan albedo rendah (Shahidan et al. 2012). Dalam hal ini, turapan konkrit yang mempunyai albedo tinggi diaplikasikan di sekeliling bangunan simulasi, di mana kepantulan suria adalah sebanyak 0.5 ρ g.

Rajah 6 juga menggambarkan kesan teduhan semula jadi terhadap dinding kaca condong bersudut 55° dan 75°.

Anak panah berwarna kuning menunjukkan pantulan sinaran matahari dari permukaan penutup bumi dengan albedo tinggi ke dalam bangunan. Justeru itu, untuk mencapai hasil yang optimum dalam mengurangkan beban penyejukan sesebuah bangunan, pemilihan bahan untuk turapan atau permukaan penutup bumi harus diambil kira. Jadual 3 meringkaskan prestasi termal bagi empat (4) sudut dinding kaca condong pada lapan (8) arah kardinal bagi 21 Mac.

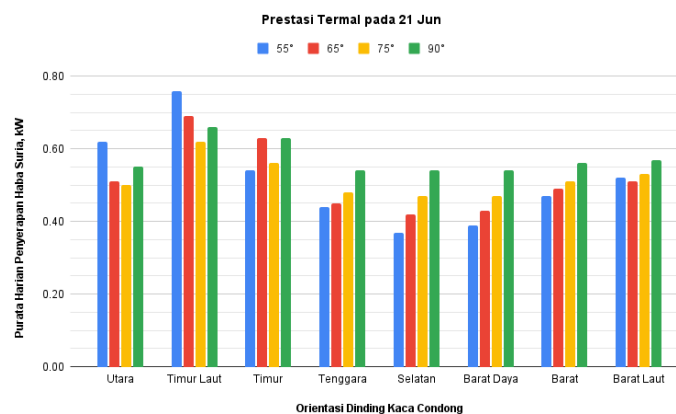
JADUAL 3. Purata penyerapan haba suria, kW bagi 21 Mac

Orientasi	Purata Harian Penyerapan Haba Suria, kW			
	55°	65°	75°	90°
Utara	0.40	0.45	0.53	0.60
Timur Laut	0.51	0.52	0.55	0.62
Timur	0.58	0.57	0.60	0.63
Tenggara	0.57	0.53	0.56	0.61
Selatan	0.42	0.47	0.52	0.60
Barat Daya	0.53	0.55	0.54	0.65
Barat	0.64	0.57	0.53	0.60
Barat Laut	0.49	0.51	0.53	0.61

PRESTASI TERMAL DINDING KACA CONDONG PADA 21 JUN

Kesan teduhan semula jadi daripada dinding kaca condong pada 21 Jun dibentangkan dalam Rajah 7. Sepanjang 12

jam pendedahan kepada sinaran matahari (0700-1900), dinding kaca condong 55° memberikan prestasi yang terbaik bagi orientasi Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya dan Barat, dengan purata harian penyerapan haba suria sebanyak 0.54 kW, 0.44 kW, 0.37 kW, 0.39 kW dan 0.47 kW masing-masing.



RAJAH 7. Penyerapan haba suria melalui dinding kaca condong pada 21 Jun

Keputusan ini dapat dijelaskan dengan laluan matahari pada 21 Jun, di mana matahari terbit jauh ke Utara dari Timur dan terbenam jauh ke Utara dari Barat. Hal ini kerana, teduhan dan bayang-bayang pada permukaan kaca membantu menyejukkan suhu permukaan kaca serta persekitaran sekeliling. Berdasarkan Rajah 7, dinding kaca condong 65° adalah lebih berkesan dalam mengurangkan beban penyejukan bagi orientasi Barat Laut dengan purata

harian penyerapan haba suria serendah 0.51 kW. Manakala, dinding kaca condong 75° adalah lebih berkesan dalam mencapai keselesaan termal dalaman bagi orientasi Utara dan Timur Laut dengan purata harian sebanyak 0.50 kW dan 0.62 kW masing-masing. Corak yang sama dapat diperhatikan dalam simulasi 21 Mac, di mana dinding kaca dengan kecondongan yang paling rendah sebenarnya akan meningkatkan jumlah haba ke dalam bangunan.

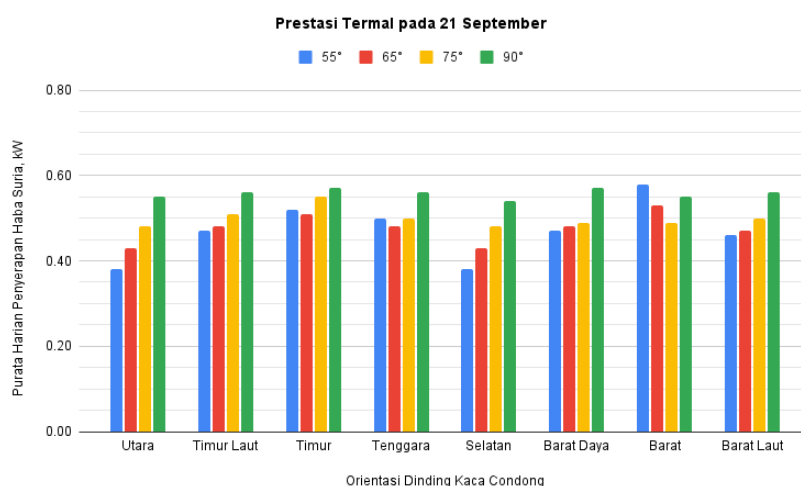
Misalnya, reka bentuk dinding kaca condong 55° yang lebih dekat dengan permukaan penutup bumi menggalakkan pemindahan haba yang lebih cepat ke arah persekitaran dalaman dan ketiadaan pergerakan udara di sekeliling bangunan akan menjejaskan keselesaan termal dalaman. Dengan udara persekitaran yang bergenang, kandungan air di dalam udara boleh menjadikan persekitaran dalaman lebih panas. Maka, salah satu cara untuk mengatasi kelembapan udara dan memperbaiki kondisi ruang dalaman adalah dengan menggunakan pengudaraan semula jadi atau mekanikal. Di kawasan tropika dengan kelajuan angin yang rendah, adalah disarankan untuk mempunyai reka bentuk landskap yang efektif seperti sistem hijauan vertikal di luar permukaan dinding kaca condong bagi menggalakkan penyejukan penyejatan (*evaporative cooling*) yang terhasil daripada penyejukan-transpirasi (*evapotranspiration*) dan pengubahsuaian corak angin pada muka bangunan (Mahrous et al. 2023). Perini et al. (2011) juga menyatakan bahawa kesan penyejukan dan teduhan dari tumbuhan dapat mengurangkan jumlah haba yang akan dipantulkan semula oleh muka bangunan dan permukaan keras yang lain. Jadual 4 menunjukkan ringkasan prestasi termal pada 21 Jun.

JADUAL 4. Purata penyerapan haba suria, kW bagi 21 Jun

Orientasi	Purata Harian Penyerapan Haba Suria, kW			
	55°	65°	75°	90°
Utara	0.62	0.51	0.50	0.55
Timur Laut	0.76	0.69	0.62	0.66
Timur	0.54	0.63	0.56	0.63
Tenggara	0.44	0.45	0.48	0.54
Selatan	0.37	0.42	0.47	0.54
Barat Daya	0.39	0.43	0.47	0.54
Barat	0.47	0.49	0.51	0.56
Barat Laut	0.52	0.51	0.53	0.57

PRESTASI TERMAL DINDING KACA CONDONG PADA 21 SEPTEMBER

Corak dan aliran yang serupa dengan simulasi pada 21 Mac dapat dilihat pada keputusan prestasi termal dinding kaca condong pada 21 September (Rajah 8). Dinding kaca condong 55° menyumbang kepada penyerapan haba suria yang rendah bagi orientasi Utara, Timur Laut, Selatan, Barat Daya dan Barat Laut dengan purata harian sebanyak 0.38 kW, 0.47 kW, 0.38 kW, 0.47 kW dan 0.46 kW masing-masing. Keputusan ini dipengaruhi oleh laluan matahari semasa Ekuinoks Musim Luruh di mana kedudukan matahari berada di atas garisan Khatulistiwa.



RAJAH 8. Penyerapan haba suria melalui dinding kaca condong pada 21 September

Bagi orientasi Timur dan Tenggara, sudut kecondongan 65° adalah paling optimum dengan purata harian sebanyak 0.51 kW dan 0.48 kW. Manakala dinding kaca condong bersudut 75° lebih berkesan jika diaplikasikan pada orientasi Barat iaitu purata harian sebanyak 0.49 kW. Oleh

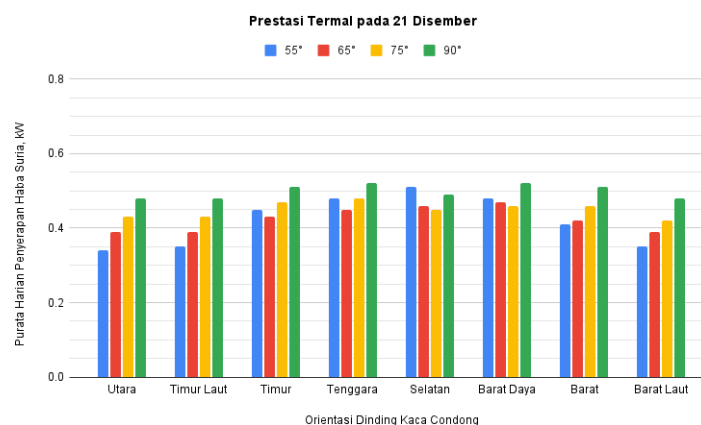
itu, jelas disahkan bahawa kecondongan 75° yang menghadap ke arah Barat mampu mengurangkan penyerapan haba suria ke dalam bangunan semasa hari suria yang melampau. Jadual 5 meringkaskan purata penyerapan haba suria bagi empat (4) sudut kecondongan terhadap lapan (8) orientasi pada 21 September.

JADUAL 5. Purata penyerapan haba suria, kW bagi 21 September

Orientasi	Purata Harian Penyerapan Haba Suria, kW			
	55°	65°	75°	90°
Utara	0.38	0.43	0.48	0.55
Timur Laut	0.47	0.48	0.51	0.56
Timur	0.52	0.51	0.55	0.57
Tenggara	0.50	0.48	0.50	0.56
Selatan	0.38	0.43	0.48	0.54
Barat Daya	0.47	0.48	0.49	0.57
Barat	0.58	0.53	0.49	0.55
Barat Laut	0.46	0.47	0.50	0.56

PRESTASI TERMAL DINDING KACA CONDONG PADA 21 DISEMBER

Rajah 9 menunjukkan purata harian penyerapan haba suria pada 21 Disember. Dinding kaca condong 55° adalah paling optimum dalam mencapai keselesaan termal bagi orientasi Utara, Timur Laut, Barat dan Barat Laut, di mana purata penyerapan haba suria adalah 0.34 kW, 0.35 kW, 0.41 kW dan 0.35 kW masing-masing. Ini dapat dijelaskan melalui laluan matahari pada Solstis Musim Sejuk (21 Disember), di mana matahari terbit jauh ke Selatan dari Timur dan terbenam jauh ke Selatan dari Barat.



RAJAH 9. Penyerapan haba suria melalui dinding kaca condong pada 21 Disember

Dinding kaca condong bersudut 65° memberikan prestasi yang lebih baik untuk orientasi Timur dan Tenggara berbanding dinding kaca condong lain, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 9, dengan purata penyerapan haba suria sebanyak 0.43 kW dan 0.45 kW masing-masing. Keputusan ini mempunyai justifikasi yang sama dengan

keputusan pada 21 Mac. Seperti yang dilihat dari corak dan aliran pada hari reka bentuk yang lain juga, sudut dinding kaca condong 75° lebih berkesan dalam mengurangkan sinaran suria langsung bagi orientasi Selatan dan Barat Daya (0.45 kW dan 0.46 kW masing-masing). Jadual 6 meringkaskan prestasi keseluruhan dinding kaca condong pada 21 Disember.

JADUAL 6. Purata penyerapan haba suria, kW bagi 21 Disember

Orientasi	Purata Harian Penyerapan Haba Suria, kW			
	55°	65°	75°	90°
Utara	0.34	0.39	0.43	0.48
Timur Laut	0.35	0.39	0.43	0.48
Timur	0.45	0.43	0.47	0.51
Tenggara	0.48	0.45	0.48	0.52
Selatan	0.51	0.46	0.45	0.49
Barat Daya	0.48	0.47	0.46	0.52
Barat	0.41	0.42	0.46	0.51
Barat Laut	0.35	0.39	0.42	0.48

KESIMPULAN

Strategi teduhan semula jadi mempunyai impak yang signifikan dalam mengurangkan penyerapan haba suria di kawasan tropika seperti Malaysia. Hasil kajian terhadap prestasi termal dinding kaca condong memberikan bukti yang jelas bahawa dinding kaca condong mempunyai keupayaan untuk mengubahsuai iklim mikro yang berkaitan dengan bangunan. Oleh itu, penggunaan dinding kaca condong pada muka bangunan mengesahkan manfaat sistem ini sebagai teknik penyejukan pasif dalam iklim tropika yang mengalami cuaca panas dan lembap sepanjang tahun. Bukti dapat dilihat daripada purata harian penyerapan haba suria bagi empat (4) tarikh reka bentuk. Kesimpulan kajian adalah seperti berikut:

1. Dinding kaca condong berteduhan semula jadi bersudut 75° menunjukkan prestasi yang optimum semasa keadaan matahari yang melampau disebabkan oleh kurang pantulan suria muka penutup bumi ke permukaan dinding kaca bangunan disebabkan jarak kecondongan dinding dengan permukaan penutup bumi. Manakala untuk orientasi yang lain, dinding kaca dengan kecondongan 55° dan 65° memberikan prestasi yang lebih baik, bergantung kepada laluan matahari pada tarikh reka bentuk tertentu. Ringkasan prestasi termal dinding kaca condong pada empat (4) tarikh reka bentuk diadualkan dalam Jadual 7.

JADUAL 7. Ringkasan prestasi termal dinding kaca condong pada empat (4) tarikh reka bentuk

Orientasi	Tarikh Reka Bentuk			
	21 Mac	21 Jun	21 Sept	21 Dis
Utara	55°	75°	55°	55°
Timur Laut	55°	75°	55°	55°
Timur	65°	55°	65°	65°
Tenggara	65°	55°	65°	65°
Selatan	55°	55°	55°	75°
Barat Daya	55°	55°	55°	75°
Barat	75°	55°	75°	55°
Barat Laut	55°	65°	55°	55°

2. Permukaan penutup bumi mempengaruhi jumlah haba suria yang dipantulkan ke dalam bangunan. Dalam simulasi dinding kaca condong 55°, permukaan konkrit di sekeliling bangunan menyumbang kepada peningkatan haba. Walaubagaimanapun, dinding kaca condong 75° memberikan prestasi yang optimum walaupun mempunyai permukaan albedo yang tinggi disebabkan oleh jarak permukaan dinding kaca

condong dengan permukaan permukaan penutup bumi .

3. Prestasi dinding kaca condong 55° adalah yang terbaik bagi kebanyakan orientasi kecuali dalam keadaan sinaran matahari yang terik. Untuk meningkatkan prestasi termal, sistem hijau menegak yang menggalakkan aliran udara sejuk serta mewujudkan pengaliran udara secara semulajadi harus dipertimbangkan.

PENGHARGAAN

Kajian ini telah dibiaya oleh Kementerian Pendidikan Tinggi (KPT) melalui Skim Geran Penyelidikan Fundamental (FRGS) di bawah geran FRGS/1/2022/TK01/UKM/02/3.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Al-Tamimi, N. & Qahtan, A. 2016. Influence of glazing types on the indoor thermal performance of tropical high-rise residential buildings. *Key Engineering Materials* 692:27–37. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.692.27>.
- Badri, K. I., Sulaiman, M.K.A.M., Hamzah, Z., Gimat, M.F. & Olewi, M.Q. 2022. Kesan penggunaan unjuran melintang kepada pencahayaan siang bilik kuliah di Bangunan Pentadbiran, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia. *Jurnal Kejuruteraan SI* 5(1) 2022: 97-103 [https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-si5\(1\)-10](https://doi.org/10.17576/jkukm-2022-si5(1)-10)
- Chia, S. L. 2008. *Minimizing Solar Insolation in High-Rise Buildings through Self-Shaded Form*. Universiti Teknologi Malaysia.
- Deal, B.M., Nemeth, R.J. & DeBaille, L.P. 1998. Energy conservation strategies for windows and glazed surfaces. *USACERL Technical Reports* 98/74
- Grablow, S. 2020. *Solar Heat Gain through Windows*. Mypdh.engineer, April 14, 2020. <https://mypdh.engineer/lessons/9-solar-heat-gain-through-windows/#:~:text=Radiation%20heat%20transfer%20between%20a, and%20heat%20gain%20in%20summer.>

- Guan, L. 2011. The influence of glass types on the performance of air-conditioned office buildings in Australia. *Advanced Materials Research* 346: 34–39. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.346.34>.
- Kandar, M.Z., Nimlyat, P.S., Abdullahi, M.G. & Dodo, Y.A. 2019. Influence of inclined wall self-shading strategy on office building heat gain and energy performance in hot humid climate of Malaysia. *Heliyon* 5: e02077. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02077>.
- Mahrous, A., Taha, A. & Abdel-Karim, N.M. 2023. Vertical Greenery Systems: A review of factors influencing their thermal performance. *MSA Engineering Journal* 2 (2): 676–702. <https://doi.org/10.21608/msaeng.2023.291908>.
- Perini, K., Ottel , M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M. & Raiteri, R. 2011. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* 46 (11): 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>.
- Qahtan, A. 2024. Thermal conditions in workspace centre and adjacent to inclined glazed façade of a green-certified office building in the Tropics. *Case Studies in Thermal Engineering* 53 (January): 103798. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4491451>.
- Shahidan, M.F., Jones, P.J., Gwilliam, J., & Salleh, E. 2012. An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. *Building and Environment* 58:245-257
- Singh, M.C., & Garg, S. N. 2011. Suitable glazing selection for glass-curtain walls in tropical climates of India. *International Scholarly Research Network Renewable Energy*, 1–11.
- Wicaksono, M.S. & Purwanto, L.M. F. 2022. *Application of Double Skin Facade (DSF) and Electrochromic Glass in Buildings in Tropical Climate. Architecture, Civil Engineering Environment* 4: 81-90 <https://doi.org/10.2478/ACEE-2022-0040>.
- Wellun, Z., Yusoff, W.F.M., Mohamed, M.F., Sulaiman, M.K.A.M. & Rasani, M.R.M. 2023. Review of window performance in a hot and humid climate. *Pertanika Journal of Science and Technology* 31(1): 457 – 474.