

Potensi Penghadang Matahari bagi Meningkatkan Prestasi Termal dan Pencahayaan Semula Jadi Ruang Pejabat Bangunan Industri

(Potential of Shading Device in Enhancing Thermal Performance and Daylighting in Office Space of Industrial Building)

Fakhriah Muhsin^{a,b*}, Wardah Fatimah Mohammad Yusoff^{a,c*}, Mohd Khairul Azhar Mat Sulaiman^a, Mohd Farid Mohamed^a & Muhammad Ihsan Shahari^a

^aJabatan Seni Bina dan Alam Bina, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
Universiti Kebangsaan Malaysia

^bPoliteknik Port Dickson, Malaysia

^cPusat Penyelidikan Pendidikan Kejuruteraan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
Universiti Kebangsaan Malaysia

*Corresponding author: p121555@siswa.ukm.edu.my, wardahyusoff@ukm.edu.my

Received 3 October 2024, Received in revised form 3 February 2025
 Accepted 3 March 2025, Available online 30 September 2025

ABSTRAK

Rentetan pemanasan global, aplikasi penghadang matahari mula meningkat dalam reka bentuk bangunan masa kini bagi memberi keselesaan termal dan pencahayaan semula jadi dalam bangunan. Kajian ini memberi fokus kepada ruang pejabat bangunan industri yang merupakan ruang yang menjadi keperluan tinggi dalam penggunaan bangunan. Oleh itu, kajian ini dijalankan untuk mengkaji keadaan suhu udara dan pencahayaan semula jadi, serta menentukan potensi penghadang matahari bagi meningkatkan prestasi termal dan pencahayaan semula jadi ruang pejabat bangunan industri yang dipilih. Dua kaedah kajian telah dilaksanakan iaitu pengukuran lapangan dan model simulasi berkomputer yang menggunakan perisian Sefaira. Kajian ini mendapati, setelah ditambah penghadang matahari, purata suhu operasi dalaman ruang pejabat bangunan kajian berkurang sebanyak 6.3% sehingga 8.72% dan mencapai suhu keselesaan termal bagi ruang tersebut iaitu 30.17°C sehingga 30.34°C. Konfigurasi penghadang matahari optimum yang dicadangkan adalah M_4 iaitu kombinasi melintang dan menegak yang berukuran 0.5m lebar x 2m tinggi untuk setiap panel. Lebar penghadang matahari yang dicadangkan adalah berukuran minimum 0.5m dan maksimum 1.0m kerana kajian ini mendapati bahawa lebar yang di luar kadar saiz ini iaitu penghadang matahari yang terlalu panjang atau terlalu pendek juga boleh menjejaskan kualiti cahaya matahari yang masuk ke dalam sesuatu ruang. Cadangan kajian ini membantu pihak industri untuk menyediakan penghadang matahari yang paling optimum bagi mengurangkan purata suhu operasi dalaman ruang pejabat bangunan, seterusnya meningkatkan keselesaan termal penghuni bangunan dan mencapai pencahayaan semula jadi yang optimum.

Kata kunci: Penghadang matahari; ruang pejabat; keselesaan termal; suhu operasi dalaman; pencahayaan semula jadi

ABSTRACT

Due to the global warming effect, the application of shading device in current building design is increased to enhance thermal comfort and daylight in the building. This research focuses on office space for industrial building, which is the most significant space due to its high usage. Therefore, this research is conducted to investigate the indoor thermal and daylight conditions, and to determine the potential shading device to enhance thermal comfort and daylight in the office space of the selected industrial building. The methods employed by the research are field measurement and computer simulation using Sefaira software. This study identified that after the shading device are added, the average indoor operative temperature of studied space decreased by 6.3% to 8.72% and achieved the required temperature for thermal comfort, which is 30.17°C to 30.34°C. The suggested optimum size of shading device

is M_4 , which is the combination of both horizontal shading device and vertical shading device, and sized between 0.5m width and 2.0m height for each panel. This study suggests that the width of shading device should be 0.5m minimum and 1.0m maximum because this study identified the size that beyond this range can affect the quality of daylight inside the studied space. This research suggestions might help the building industries to provide the optimum size of shading device for reducing the average indoor operative temperature of the office space, in turn, the indoor thermal comfort can be enhanced and the optimum daylight factor can be achieved.

Keywords: Shading device; office space; thermal comfort; indoor operative temperature; daylighting

PENGENALAN

Sejak akhir-akhir ini, pemanasan global memberi kesan yang besar kepada kesejahteraan termal penghuni bangunan kerana 85% kehidupan harian manusia adalah dalam bangunan (Khosravi et al. 2023; Mamulova et al. 2023; Stasi, Ruggiero and Berardi 2024). Antara ruang yang paling banyak dibangkitkan isu kesejahteraan termal ini ialah ruang pejabat kerana bagi pekerja, satu per tiga daripada kehidupan harian mereka telah digunakan untuk berkhidmat dalam bangunan (Mamulova et al. 2023b; Zhang et al. 2022b). Justeru, reka bentuk bangunan yang mengambil kira aspek kesejahteraan termal semakin mendapat tempat di kalangan pereka bentuk bangunan, seperti arkitek dan kontraktor, dalam menangani isu pemanasan global bagi menjamin kesejahteraan termal penghuni bangunan.

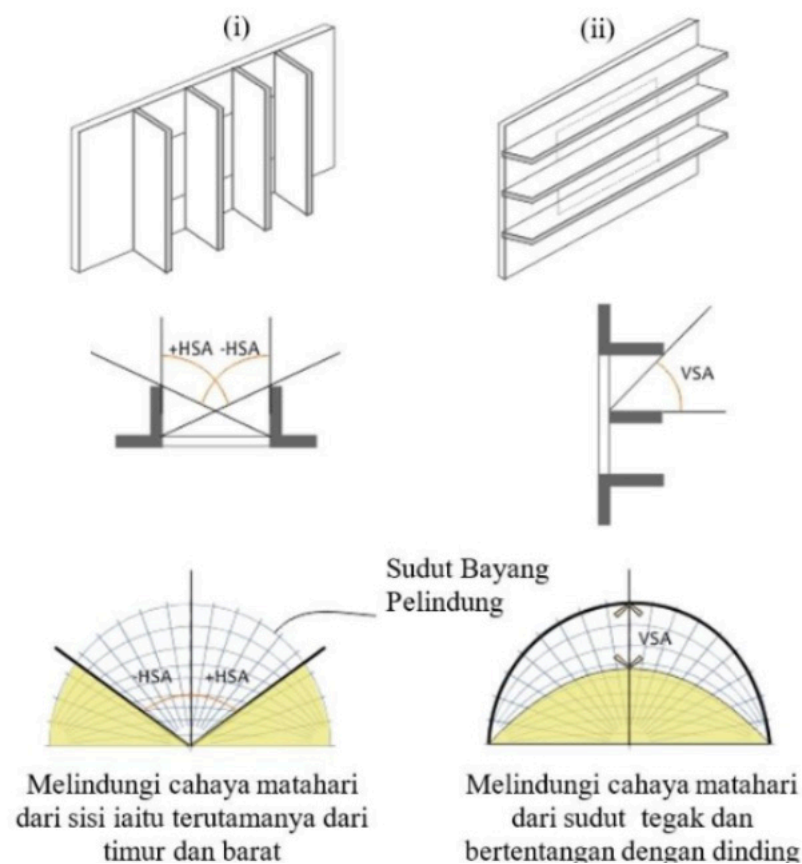
Antara elemen reka bentuk yang mula mendapat perhatian dalam pembangunan bangunan pejabat masa kini ialah penghadang matahari kerana peranannya yang besar untuk mengawal cahaya matahari yang terik dari luar ke dalam bangunan, seterusnya boleh mengurangkan kesan

haba kepada penghuni bangunan (Lau et al. 2016; Urbano Gutiérrez et al. 2019; Alsukkar et al. 2022; Zheng, Tao and Chen, 2022; Bianchi et al. 2024). Penghadang matahari pada tingkap berupaya membantu memberi kesejahteraan termal dalam bangunan (Urbano Gutiérrez et al. 2019; Alsukkar et al. 2022; Li, Calautit and Jimenez-Bescos, 2023).

Dalam suasana pembangunan masakini yang berteraskan kelestarian alam dan kesedaran peningkatan suhu dunia, terdapat banyak bangunan tinggi yang mengaplikasikan penggunaan penghadang matahari (Lau et al. 2016; Urbano Gutiérrez et al. 2019; Alsukkar et al. 2022; Zheng, Tao and Chen, 2022; Bianchi et al. 2024) dan ada di antaranya yang mendapat pengiktirafan Indeks Bangunan Hijau (Green Building Index – GBI) dan Kepimpinan dalam Tenaga dan Rekaan Alam Sekitar (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED). Menurut Urbano Gutiérrez et al. (2019), penghadang matahari berperanan besar untuk mengawal cahaya matahari yang terik dari luar ke dalam bangunan supaya boleh mengurangkan kesan haba kepada penghuni bangunan (seperti Rajah 1).



RAJAH 1. Penghadang matahari pada bangunan pejabat Edificio Pórtico, Madrid (Urbano Gutiérrez et al. 2019).



RAJAH 2. Reka bentuk penghadang matahari pada tingkap: (i) Menegak, dan (ii) Melintang (*Net Zero Energy Buildings*, 2024)

Reka bentuk penghadang matahari pada bukaan tingkap dari segi saiz dan keadaan atau kedudukannya seperti menegak dan melintang mempengaruhi kesan keselesaan termal dalam sesuatu ruang (Pelsmakers, 2013; Zahiri and Altan, 2016; Brembilla et al. 2019; Alwetaishi et al. 2021; Karmann et al. 2023; Norouziasas et al. 2023; Tavares da Silva and Cruz Gaspari Veras 2023; Kim, Luong and Nguyen 2024; Yin and Muhieldeen 2024). Orientasi sudut bayang untuk penghadang matahari menegak adalah berbeza dengan orientasi sudut bayang penghadang matahari melintang (*Net Zero Energy Buildings* 2024) (seperti Rajah 2).

Justeru, kajian ini dijalankan untuk mengenalpasti potensi penghadang matahari bagi meningkatkan prestasi termal dan pencahayaan semula jadi ruang pejabat bangunan industri.

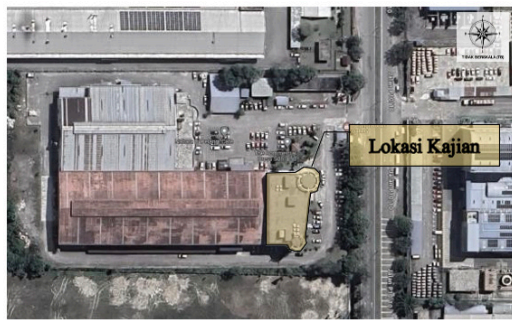
METODOLOGI

Dalam menentukan prestasi dan kesan penghadang matahari kepada suhu operasi dan pencahayaan semula

jadi ruang pejabat bangunan kajian, kaedah pengukuran lapangan dan model simulasi berkomputer *Sefaira* telah digunakan dalam kajian ini. Terdapat tiga peringkat kajian iaitu peringkat pertama ialah pengukuran lapangan, peringkat kedua ialah pengesahan model simulasi berdasarkan data pengukuran lapangan, dan peringkat ketiga ialah simulasi penghadang matahari berkonfigurasi melintang, menegak dan kombinasi kedua-duanya untuk menentukan kesannya terhadap suhu operasi dalaman dan pencahayaan semula jadi ruang pejabat bangunan kajian..

KAJIAN LAPANGAN

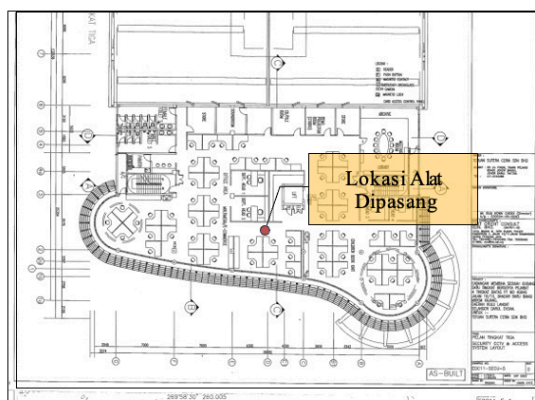
Bangunan yang dipilih ialah bangunan Syarikat Penerbitan Pelangi Sdn. Bhd. yang terletak di Lot 8, Jalan P10/10, Kawasan Perusahaan Bangi, Bandar Baru Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia ($2^{\circ}58' 25.712''\text{U}$, $101^{\circ}44' 44.408''\text{T}$).



RAJAH 3. Lokasi bangunan kajian (Google Maps, 2024).

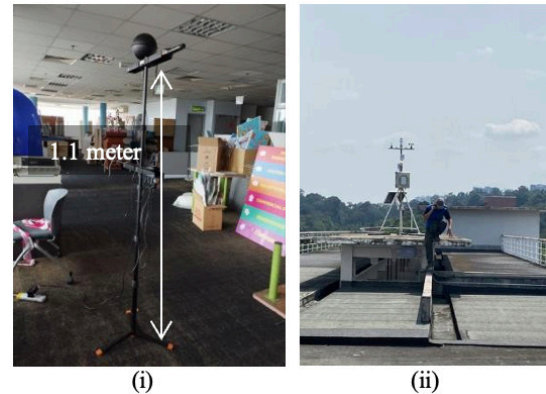
Ia dipilih kerana terdapat isu ketidakselesaan termal di ruang pejabat tingkat tiga bangunan tersebut yang menyebabkan ruang tersebut tidak lagi dihuni oleh pekerja dan hilang fungsinya sebagai ruang pejabat (Rajah 3). Menurut pihak pengurusan bangunan tersebut, ruang pejabat itu tidak digunakan kerana ia tidak selesa dihuni oleh penghuninya atas faktor suhu dan kadar cahaya semula jadinya yang terlalu tinggi. Waktu pengumpulan data adalah mengikut waktu pejabat beroperasi kerana ruang kajian hanya digunakan pada waktu bekerja. Oleh yang demikian, bacaan data direkodkan selang 5 minit bermula pada jam 8.00 pagi sehingga jam 5.00 petang. Sela masa ini dipilih supaya perubahan data dapat dilihat secara berperingkat dan lebih tepat.

Tujuan pengukuran lapangan adalah untuk mengkaji keadaan suhu udara persekitaran dalaman dan pencahayaan semula jadi ruang pejabat bangunan kajian. Dapatan pengukuran lapangan adalah kondisi sebenar keadaan setiap parameter; purata suhu sinaran (T_{mrt}), suhu udara ($^{\circ}\text{C}$), halaju udara (m/s), kelembapan relatif (RH), dan kadar cahaya semula jadi (lux), untuk digunakan dalam pengesahan model simulasi berkomputer kajian ini. Peralatan kajian TESTO 400 dipasang pada bahagian tengah ruang pejabat di aras tiga bangunan kajian (seperti Rajah 4).



RAJAH 4. Lokasi peralatan dipasang pada bangunan kajian.

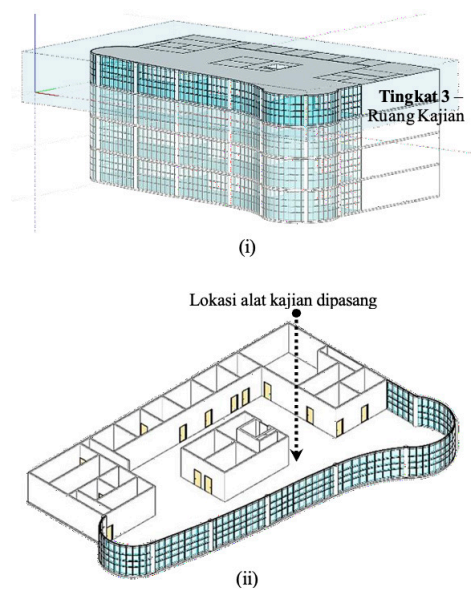
TESTO 400 dipasang dengan ketinggian 1.1 meter daripada lantai bertepatan dengan standard ASHRAE yang mewakili penghuni bangunan dalam keadaan duduk (ANSI/ASHRAE Standard, 2020). Manakala, data keadaan cuaca luar telah diambil daripada HOBO U30 USB *Weather Station* yang dipasang pada ketinggian aras bumbung 16m dari aras lantai dan ketinggian instrumen adalah 1.5m dari lantai (seperti RAJAH 5).



RAJAH 5. Pemasangan alat kajian: (i) TESTO 400 dan (ii) HOBO U30 USB *Weather Station*.

MODEL SIMULASI BERKOMPUTER

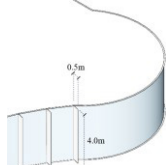
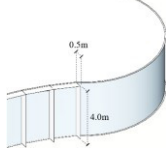
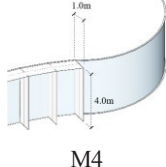
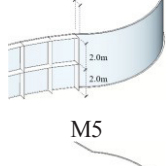
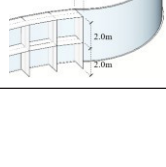
Model simulasi berkomputer dibangunkan mengikut dapatan data pengukuran lapangan dengan menggunakan perisian *Sefaira Architecture* (seperti RAJAH 6).



RAJAH 6. Model simulasi: (i) Keseluruhan blok bangunan kajian, dan (ii) Lokasi alat kajian dipasang.

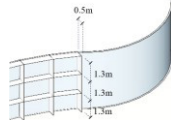
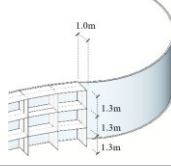
Setelah model simulasi berkomputer ini dikesahkan oleh kajian lapangan, lapan konfigurasi model simulasi telah dibangunkan untuk mengenalpasti konfigurasi yang paling berkesan dalam pengurangan suhu operasi dalaman ruang pejabat bangunan kajian untuk keselesaan termal dan pencahayaan semula jadi (seperti JADUAL 1).

JADUAL 1. Lapan konfigurasi model simulasi kajian.

Model dan Spesifikasi Penghadang Matahari	Saiz Penghadang Matahari, a (m)	Nisbah Penghadang Matahari, R
M0	—	$R = 0$
		
M1	0.5	$R1 = 0.25$
		
M2	0.5	$R1 = 0.25$ $R2 = 0.13$
		
M3	1.0	$R1 = 0.5$ $R2 = 0.25$
		
M4	0.5	$R1 = 0.25$ $R2 = 0.25$
		
M5	1.0	$R1 = 0.5$ $R2 = 0.5$
		

bersambung ...

... sambungan

M6	0.5	$R1 = 0.25$ $R2 = 0.38$
		
M7	1.0	$R1 = 0.5$ $R2 = 0.77$
		

Saiz penghadang matahari yang ditentukan adalah minimum 0.5m dan maksimum 1.0m seperti yang dicadangkan oleh kajian terdahulu (Perwita Sari and Chiou 2018). Konfigurasi penghadang matahari diukur berdasarkan nisbah saiz penghadang matahari kepada bukaan tingkap (Kim, Luong and Nguyen 2024):

Bagi penghadang matahari menegak, R_1 :

$$R_1 = \frac{a}{w}$$

a ialah saiz penghadang matahari dan w ialah lebar tingkap.

Manakala bagi penghadang matahari melintang, R_2 :

$$R_2 = \frac{a}{H}$$

a ialah saiz penghadang matahari dan H ialah tinggi tingkap.

Pengiraan nisbah penghadang matahari menunjukkan kedua-duanya mengambil kira lebar penghadang matahari. Namun, penghadang menegak mengambil kira lebar tingkap, manakala, penghadang matahari melintang mengambil kira tinggi tingkap.

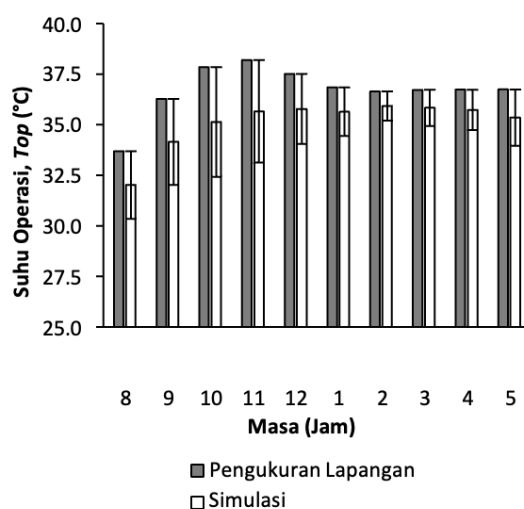
PENGESAHAN MODEL SIMULASI

Pengesahan model simulasi ruang pejabat bangunan kajian dilaksanakan melalui pengiraan sisihan purata, σ , antara model simulasi dan data pengukuran lapangan (seperti Rajah 7). Nilai sisihan purata yang diterima untuk suhu operasi dalaman bagi keselesaan termal adalah kurang daripada 10% (Mohammad Yusoff, 2021; Qi, 2023) dan ia diperolehi menggunakan formula berikut:

$$\sigma = \frac{\Delta T_{op}}{T_{op}}$$

Di mana,

- σ = Sisihan purata
 ΔT_{op} = Perbezaan suhu pengukuran lapangan dan simulasi
 T_{op} = Suhu operasi pengukuran lapangan



RAJAH 7. Suhu operasi, T_{op} (°C) melawan masa antara pengukuran lapangan dengan simulasi model.

JADUAL 2. Sisihan purata, σ , suhu operasi (T_{op}) antara pengukuran lapangan dengan simulasi model untuk setiap jam.

Masa (Jam)	T_{op} (°C) Pengukuran Lapangan	T_{op} (°C) Model Simulasi	Nilai Sisihan (°C)	Sisihan Purata, σ (%)
8	33.69	32.02	1.67	5.22
9	36.27	34.15	2.12	6.22
10	37.84	35.13	2.71	7.72
11	38.19	35.66	2.53	7.11
12	37.51	35.78	1.73	4.84
1	36.84	35.64	1.20	3.37
2	36.64	35.92	0.72	2.01
3	36.72	35.83	0.89	2.49
4	36.73	35.73	1.00	2.79
5	36.74	35.35	1.39	3.94

Didapati nilai sisihan purata terendah adalah pada jam 2 petang iaitu 2% dan yang tertinggi adalah pada jam 10 pagi iaitu 7.2% (seperti Jadual 2). Secara keseluruhannya, nilai sisihan purata suhu operasi dalaman ruang pejabat bangunan untuk setiap jam adalah kurang daripada 10%

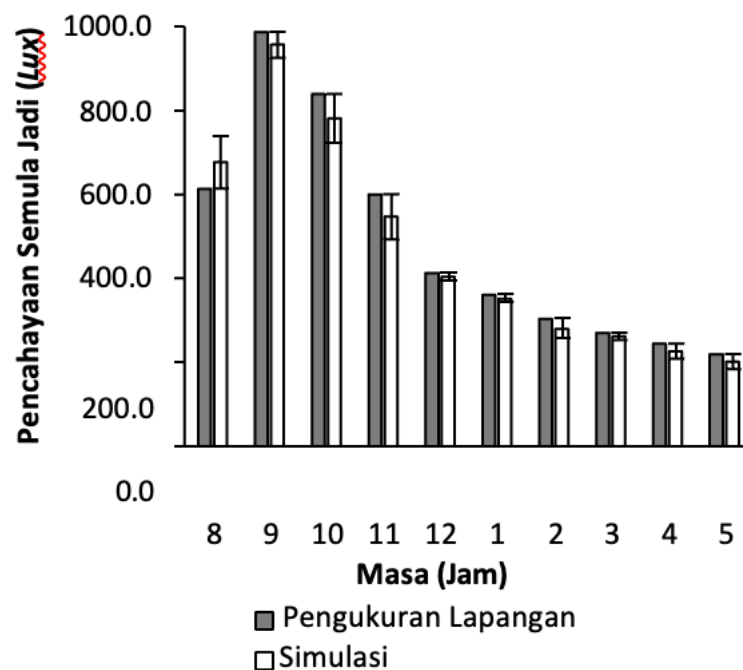
bermakna keputusan ini boleh diterima untuk kajian seterusnya untuk menentukan potensi penghadang matahari bagi meningkatkan prestasi termal dan pencahayaan semula jadi ruang pejabat bangunan kajian.

Pengesahan model simulasi ruang pejabat bangunan kajian juga dilaksanakan melalui pengiraan sisihan purata, σ , pencahayaan semula jadi (*lux*) antara model simulasi dan data pengukuran lapangan (seperti Rajah 8). Didapati nilai sisihan purata terendah pencahayaan semula jadi dalam ruang pejabat adalah pada jam 12 tengah hari iaitu 2.36% dan yang tertinggi adalah pada jam 11 pagi iaitu 9.84% (seperti Jadual 3). Pencahayaan semula jadi dalam ruang pejabat adalah terendah pada jam 5 petang iaitu 201.5

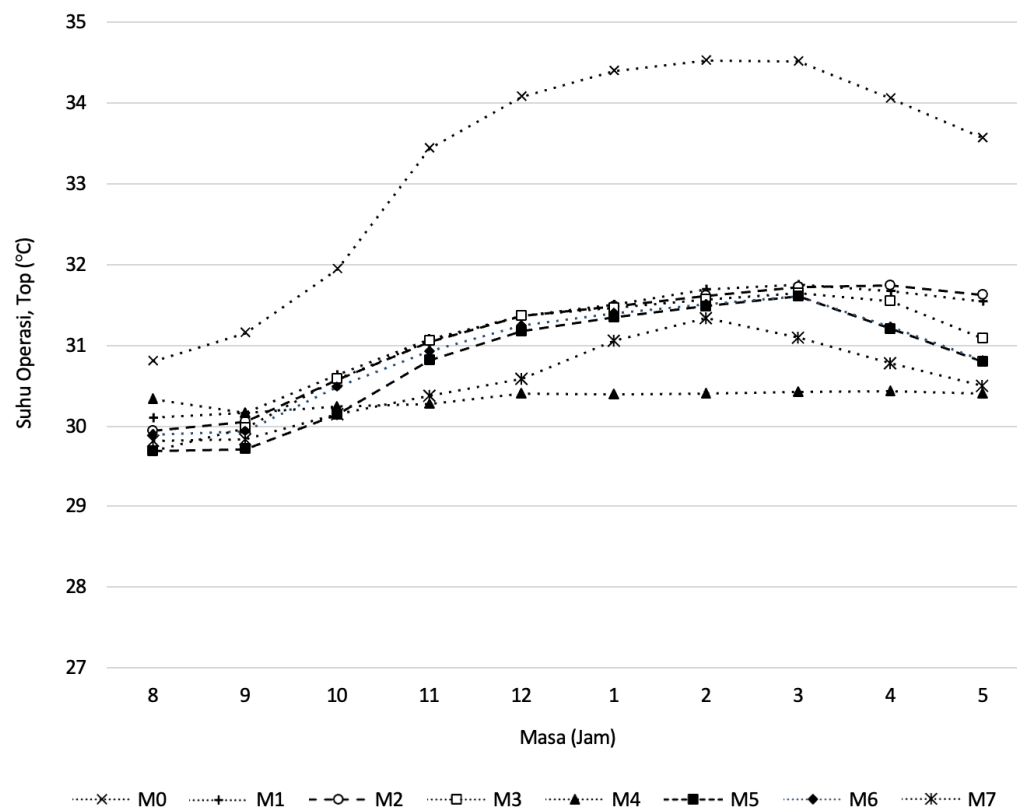
lux bagi model simulasi dan 219.4 *lux* bagi pengukuran lapangan. Manakala, pencahayaan semula jadi dalam ruang pejabat yang tertinggi adalah pada jam 9 pagi iaitu 988.55 *lux* bagi pengukuran lapangan dan 957.4 *lux* bagi model simulasi. Kajian ini mendapati bahawa hal ini berlaku kerana faktor orientasi bangunan yang menghadap ke timur, justeru, bukaan tingkap menghadap ke arah matahari terbit dan terlindung dari pancaran matahari tenggelam.

JADUAL 3. Sisihan purata, σ , pencahayaan semula jadi (*lux*) antara pengukuran lapangan dengan simulasi model untuk setiap jam

Masa (Jam)	Pencahayaan Semula Jadi (<i>lux</i>) Pengukuran Lapangan	Pencahayaan Semula Jadi (<i>lux</i>) Model Simulasi	Nilai Sisihan ($^{\circ}\text{C}$)	Sisihan Purata, σ (%)
8	614.48	677.20	62.73	9.26
9	988.55	957.40	31.15	3.25
10	840.52	782.10	58.42	7.47
11	600.73	546.90	53.83	9.84
12	413.12	403.60	9.52	2.36
1	360.90	351.40	9.50	2.70
2	303.63	279.60	24.03	8.60
3	270.73	262.10	8.63	3.29
4	244.16	226.50	17.66	7.80
5	219.40	201.50	17.90	8.89



RAJAH 8. Pencahayaan semula jadi (*lux*) melawan masa antara pengukuran lapangan dengan simulasi model.



RAJAH 9. Graf suhu operasi dalaman, T_{op} (°C) melawan masa untuk setiap model.

HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN

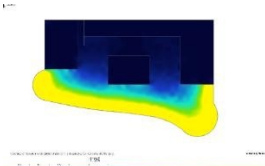
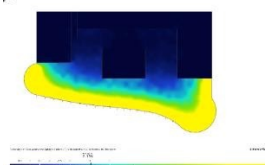
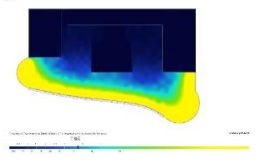
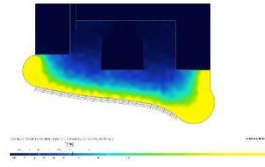
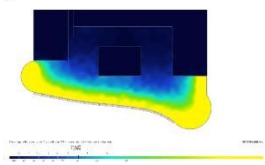
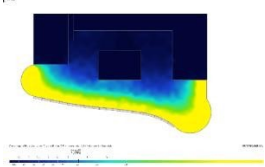
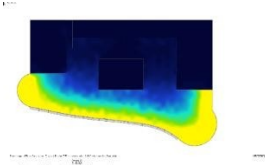
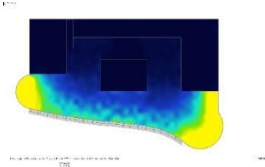
Keputusan suhu operasi dalaman ruang pejabat bagi lapan model simulasi iaitu M_0 , M_1 , M_2 , M_3 , M_4 , M_5 , M_6 , dan M_7 dibandingkan untuk melihat prestasi penghadang matahari yang bersesuaian untuk meningkatkan keselesaan termal penghuni ruang pejabat. Hasil kajian mendapati model yang telah ditambah penghadang matahari mampu mengurangkan suhu operasi dalaman ruang pejabat sebanyak 6.3% sehingga 8.72% (seperti Rajah 9). Didapati model yang tiada penghadang matahari, M_0 , mencatatkan purata suhu operasi dalaman yang tertinggi iaitu 33.25°C. Setelah ditambah penghadang matahari, purata suhu operasi dalaman berkurang kepada 31.16°C bagi M_1 , 31.12°C bagi M_2 , 31°C bagi M_3 , 30.35°C bagi M_4 , 30.8°C bagi M_5 , 30.91°C bagi M_6 , dan 30.56°C bagi M_7 .

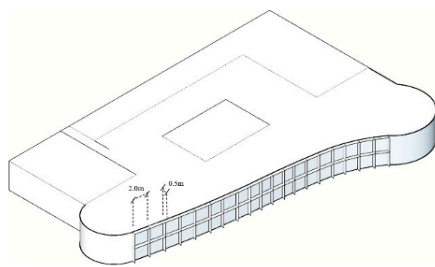
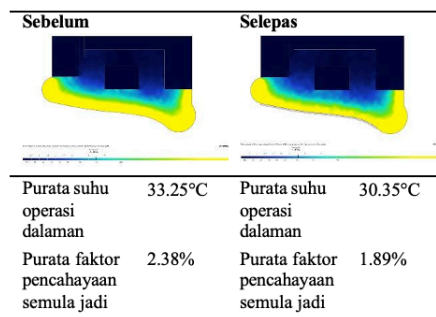
Antara semua konfigurasi model simulasi ini, M_4 sahaja yang berada pada suhu yang diterima untuk keperluan keselesaan termal iaitu antara 26°C hingga 30.4°C (Mohammad Yusoff, 2021; Zarea Allah et al. 2023). Hasil kajian mendapati penghadang matahari yang ditambah dapat mengurangkan kadar cahaya semula jadi masuk ke dalam ruang sebanyak 9.7% sehingga 38.2%.

Model yang tiada penghadang matahari, M_0 , mencatatkan purata faktor pencahayaan semula jadi yang tertinggi iaitu 2.38%. Setelah ditambah penghadang matahari, purata faktor pencahayaan semula jadi berkurang kepada 2.15% bagi M_1 , 1.99% bagi M_2 , 1.7% bagi M_3 , 1.89% bagi M_4 , 1.57% bagi M_5 , 1.83% bagi M_6 , dan 1.47% bagi M_7 (seperti JADUAL 4). Model M_7 mencatatkan purata faktor pencahayaan semula jadi yang terendah iaitu 1.47%, namun masih mencapai kadar pencahayaan semula jadi yang diperlukan untuk ruang iaitu antara 1.0% sehingga 3.5% (Malaysian Standard 2019).

Berdasarkan keputusan kajian, didapati penghadang matahari yang paling optimum untuk diaplikasikan adalah kombinasi penghadang matahari melintang dan menegak yang berukuran 0.5m x 2m bagi setiap panel iaitu model M_4 (seperti Rajah 10). Saiz penghadang matahari M_4 perlu berukuran antara 0.5m dan 1.0m supaya tidak menjejaskan kualiti cahaya matahari yang masuk ke dalam ruang. Menurut kajian terdahulu, penghadang matahari yang terlalu panjang atau terlalu pendek akan menjejaskan kualiti pencahayaan matahari yang masuk ke dalam sesuatu ruang (Qi 2023; Sriromreun & Paranee 2020).

JADUAL 4. Faktor pencahayaan semula jadi (%) bagi setiap model simulasi

Model	Purata Cahaya (%)
M0	2.38
	
M1	2.15
	
M2	1.99
	
M3	1.7
	
M4	1.89
	
M5	1.57
	
M6	1.83
	
M7	1.47
	



RAJAH 10. Model M4: (i) Saiz penghadang matahari bagi model simulasi, M4, dan (ii) Faktor pencahayaan semula jadi bagi M4 sebelum dan selepas ditambah penghadang matahari.

Hasil kajian mendapati konfigurasi cadangan iaitu M4 (seperti RAJAH 10) mampu mengurangkan suhu operasi dalaman sebanyak 2.9°C menjadi 30.4°C dan menepati keperluan keselesaan termal iaitu antara 26°C hingga 30.4°C (Mohammad Yusoff, 2021; Zaraa Allah *et al.* 2023). Ia juga mengurangkan faktor pencahayaan semula jadi sebanyak 0.5% menjadi 1.89% dan ini masih menepati keperluan pencahayaan semula jadi (Malaysian Standard 2019).

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, hasil kajian mendapati penambahan penghadang matahari yang mempunyai konfigurasi kombinasi melintang dan menegak mampu mengurangkan suhu operasi dalaman ruang pejabat sebanyak 6.3% sehingga 8.72% iaitu daripada 33.25°C kepada minimum 30.35°C dan ini mencapai keperluan suhu keselesaan termal iaitu antara 26°C hingga 30.4°C (Mohammad Yusoff, 2021b; Zaraa Allah *et al.* 2023a). Setelah ditambah penghadang matahari, purata suhu operasi dalaman berkurang sebanyak 6.3% bagi M₁, 6.4% bagi M₂, 6.76% bagi M₃, 8.72% bagi M₄, 7.36% bagi M₅, 7.05% bagi M₆, dan 8.11% bagi M₇.

Hasil kajian ini mendapati saiz penghadang matahari bagi M₄ merupakan konfigurasi yang paling optimum dalam pengurangan purata suhu operasi dalaman pejabat.

Kesimpulannya, kajian ini mencadangkan saiz penghadang matahari bagi M₄ iaitu yang berukuran 0.5m (lebar) x 2m (panjang) untuk setiap panel merupakan saiz yang paling optimum bagi pengurangan suhu operasi dalaman ruang pejabat, di samping mengekalkan keperluan pencahayaan semula jadi dalam ruang pejabat bangunan kajian.

PENGHARGAAN

Setinggi penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas geran GUP-2024-020 (*A Shading Device-Rainwater Catchment (SDRC) for Rainwater Harvesting at Residential Building*) yang turut membantu kajian ini, di mana kajian ini menyentuh mengenai penghadang matahari (*shading device*). Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih juga kepada pihak Syarikat Penerbitan Pelangi Sdn. Bhd. di atas sokongan dan kerjasama yang diberikan ketika kajian lapangan dijalankan di lokasi bangunan milik mereka.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Alsukkar, M. *et al.* 2022. Daylighting performance improvements using of split louver with parametrically incremental slat angle control. *Energy and Buildings* 274: 1–16.
- Alwetaishi, M. *et al.* 2021. An investigation of shading devices in a hot region: A case study in a school building. *Ain Shams Engineering Journal* 12(3): 3229–3239.
- ANSI/ASHRAE Standard. 2020. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ANSI. USA.
- Bianchi, S. *et al.* 2024. Multi-criteria design methods in façade engineering: State-of-the-art and future trends. *Building and Environment* 250(January): 1–19.
- Brembilla, E. *et al.* 2019. Evaluation of climate-based daylighting techniques for complex fenestration and shading systems. *Energy and Buildings* 203: 1–12.
- Karmann, C. *et al.* 2023. User assessment of fabric shading devices with a low openness factor. *Building and Environment* 228(June 2022): 1–16.
- Khosravi, M. *et al.* 2023. Model Predictive Control in Buildings with Thermal and Visual Comfort Constraints. *Energy and Buildings* 306(July 2023): 1–10.

- Kim, D.H., Luong, H.T. and Nguyen, T.T. 2024. Optimizing the shading device configuration of kinetic façades through daylighting performance assessment. *Buildings* 14(4): 1–27.
- Lau, A. K. K. et al. 2016. Potential of shading devices and glazing configurations on cooling energy savings for high-rise office buildings in hot-humid climates: The case of Malaysia. *International Journal of Sustainable Built Environment* 5(2): 387–399.
- Li, J., Calautit, J. K. and Jimenez-Bescos, C. 2023. Experiment and numerical investigation of a novel flap fin louver windcatcher for multi-directional natural ventilation and passive technology integration. *Building and Environment* 242(January): 1–18.
- Malaysian Standard. 2019. *Energy efficiency and use of renewable energy for non-residential buildings-Code of practice (Third revision)*. Selangor, 1–92.
- Mamulova, E. et al. 2023. Let's talk scalability: The current status of multi-domain thermal comfort models as support tools for the design of office buildings. *Building and Environment* 242(May): 1–17.
- Mohammad Yusoff, W.F. 2021. Indoor thermal environment of various semi-enclosed atrium configurations of institutional building in tropical climate. *International Journal of Built Environment and Sustainability* 8(2): pp. 35–48.
- Net Zero Energy Buildings. 2024. Available at: <https://nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/shading/>.
- Norouziasas, A. et al. 2023. Implementation of ISO/DIS 52016-3 for adaptive façades: A case study of an office building. *Building and Environment* 235(November 2022): pp. 8–11.
- Pelsmakers, S. 2013. Future-proofing London, *Imagining the Future City: London 2062*, (December): pp. 73–83.
- Perwita Sari, D. and Chiou, Y.S. 2018. Energy saving potential from shading design for residential house in rural area. *MATEC Web of Conferences* 164: 1–8.
- Qi, S.Y. 2023. Kesan kombinasi penghadang sinaran matahari mendatar dan menegak terhadap keselesaan terma Bilik Tetamu Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia. Master Thesis. Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Sriromreun, P. and Paranee. 2020. An optimum design for air filter housing-louver: Enhancing filter life-time. *Case Studies in Thermal Engineering* 21(June): 1–6.
- Stasi, R., Ruggiero, F. and Berardi, U. 2024. Influence of cross-ventilation cooling potential on thermal comfort in high-rise buildings in a hot and humid climate. *Building and Environment* 248(August 2023): 1–21.
- Tavares da Silva, F. and Cruz Gaspari Veras, J. 2023. A design framework for a kinetic shading device system for building envelopes. *Frontiers of Architectural Research* 12(5): 837–854.
- Urbano Gutiérrez, R. et al. 2019. Daylight control and performance in office buildings using a novel ceramic louvre system. *Building and Environment* 151(January): 54–74.
- Yin, X. and Muhieldeen, M.W. 2024. Impact of vertical shading designs on the cross-ventilation performance of a high-rise office building. *Results in Engineering* 21(December 2023): 1–24.
- Zahiri, S. and Altan, H. 2016. The effect of passive design strategies on thermal performance of female secondary school buildings during warm season in a hot and dry climate. *Frontiers in Built Environment*, 2(March): 1–15.
- Zaraa Allah, M. et al. 2023. Investigating adaptive thermal comfort in office settings: A case study in Johor Bahru, Malaysia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 8(August): 1–12.
- Zhang, W., Wu, Y. and Calautit, J.K. 2022. A review on occupancy prediction through machine learning for enhancing energy efficiency, air quality and thermal comfort in the built environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 167(January): 1–18.
- Zheng, J., Tao, Q. and Chen, Y. 2022. Airborne infection risk of inter-unit dispersion through semi-shaded openings: A case study of a multi-storey building with external louvers. *Building and Environment* 225(August): 1–15.