

Analisis Prestasi Terma Penghadang Suria Luaran Sedia Ada di Kampung Admiralty, Singapura (Thermal Performance Analysis of Existing External Solar Shading at Kampung Admiralty, Singapore)

Low Shi Nii, Zabidi Hamzah*, Noraziah Mohammad & Mazlan Mohd Tahir

Jabatan Seni Bina dan Alam Bina,
 Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

*Corresponding author: zabidi@ukm.edu.my

Received 15 March 2023, Received in revised form 1 June 2023

Accepted 7 July 2023, Available online 31 October 2023

ABSTRAK

Penghadang suria luaran telah lama direka bentuk sebagai sebahagian daripada fasad bangunan untuk fungsi, estetik dan privasi. Dari aspek fungsi, ia digunakan untuk mengurangkan haba dan silau, sekali gus membantu meningkatkan kualiti terma serta pencahayaan bangunan. Dalam iklim tropika, sinaran matahari sepanjang tahun, terutamanya yang menghadap ke fasad bangunan timur atau barat dengan permukaan berkaca besar mungkin memberi masalah ketidakselesaan terma serta silau yang teruk. Kertas kerja ini menganalisis kesan sistem penghadang suria luaran sedia ada bagi sirip dan fasad hijau bangunan di Kampung Admiralty, Singapura. Kamera pengimejan terma digunakan untuk mengesan bacaan terma daripada semua sistem penghadang suria fasad. Daripada perbandingan hasil, didapati setiap fasad bangunan memerlukan penyesuaian penghadang yang berlainan akibat sudut cahaya matahari yang berbeza. Fasad selatan paling baik dihadang dengan teduhan mendatar. Fasad timur dan barat memerlukan teduhan yang menghalang cahaya matahari masuk pada sudut rendah. Fasad utara boleh dibiarkan tanpa berhadang. Dinding hijau dengan tumbuh-tumbuhan yang sangat padat berfungsi dengan lebih berkesan daripada penebat haba dalam mengurangkan beban penyejukan bangunan. Kajian ini seterusnya meyakinkan keperluan untuk peranti teduhan suria, terutamanya di fasad selatan negara tropika.

Kata kunci: Iklim tropika; peranti teduhan; prestasi terma; termografi inframerah

ABSTRACT

External Solar shadings have long been designed as an integral part of a building's facade for functional, aesthetic and privacy reasons. From a functional aspect, it is used to reduce heat and glare, thus helping to improve the thermal as well as lighting quality of the building. In a tropical climate, the yearlong sun radiation, especially those facing the eastern and western building facades with large glazed surfaces may show severe thermal and glare discomfort issues. This paper analyses the impact of the existing shading system of the vertical and horizontal fins and green facades of The Admiralty Village building in Singapore. A thermal imaging camera was used to detect thermal readings from all of the facade's shading systems. From the result comparison, each facade of the building requires a different shading treatment due to the different sunlight angles. The south facade is best shaded with horizontal shading. East and west facades require shading that blocks sunlight entering at low angles. The north facade can be left unshaded. Green walls with highly dense vegetation perform more effectively than thermal insulation in reducing the cooling load of the building. This study further convinced the need for solar shading devices, especially in the southern facades of tropical countries.

Keywords: Tropical climate; shading devices; thermal performance; infrared thermography

PENGENALAN

Sinaran suria yang terus pada bangunan mempunyai kesan yang kuat daripada aspek visual dan haba. Penggunaan penghadang suria luaran mengurangkan penerimaan cahaya ke dalam bangunan dan memberi keselesaan visual seperti kesan silau (De Luca et al. 2022; Yasser et al. 2018; Lau et al. 2016). Ia juga dapat mengawal pertukaran haba melalui fasad bangunan yang berkaca. Dengan kata lain, penghadang suria luaran boleh mengurung atau meningkatkan penggunaan tenaga bangunan iaitu dari aspek penyejukan, pencahayaan dan pemanasan sesuatu bangunan malah memberi keselesaan terma pada penghuni bangunan. (Mohammad. et al. 2022, Palmero-Marrero et al.2010)

PENYATAAN MASALAH

Penggunaan tenaga adalah topik panas ramai penyelidik masakini (Allen et al. 2022, Muhammah et al. 2016, Sahel 2014). Kebanyakan fasad bangunan terdedah kepada sinaran suria terus, Di negara yang mempunyai iklim tropika seperti Singapura, adalah penting untuk mempunyai reka bentuk fasad yang memberikan teduhan yang mencukupi bagi menghalang sinaran suria yang tidak diperlukan daripada memasuki bangunan. Jumlah sinaran suria yang tidak diperlukan yang tinggi menyebabkan penambahan haba di dalam bangunan yang membawa kepada keadaan terma yang tidak selesa akibat peningkatan suhu. Akibatnya, penggunaan penghawa dingin untuk menyejukkan kawasan dalaman meningkat. Justeru,

bagaimanakah preatasi kesan penghadang haba (sirip dan landskap) sedia ada yang terhadap Kampung Admiralty?

OBJEKTIF

Objektif kajian ini adalah seperti berikut:

1. Untuk mengelaskan pelbagai jenis dan model sistem penghadang suria sedia ada.
2. Untuk menyiasat kesan penghadang suria terhadap penyerapan haba oleh teduhan suria berbeza di Kampung Admiralty.

METODOLOGI

Penyelidikan ini adalah berdasarkan kajian lapangan. Ia melibatkan pengambilan imej terma fasad untuk kajian kes yang dipilih. Imej terma diambil oleh kamera terma yang dikenali sebagai pengimej terma Fluke Ti20 (Rajah 1). Imej terma dirakam pada setiap jam dari jam 3 petang hingga 4 petang pada 14 Oktober 2019. Fluke Ti20 ialah kamera inframerah yang mampu mengambil imej dengan maklumat terma yang boleh memberikan suhu setiap titik fasad bangunan. Untuk menganalisis imej terma yang diambil oleh Fluke Ti20, imej yang diambil akan dieksport ke dalam perisian komputer SmartView® yang disertakan dengan peranti Fluke. Perisian ini mempunyai alat untuk membantu penyelidik menganalisis imej dan keputusan, dan menghasilkan foto dengan imej inframerah dan digital bersama-sama bagi menyediakan semua maklumat yang diperlukan dengan cara yang sangat mudah.



RAJAH 1. Fluke Ti20 Thermal Imager

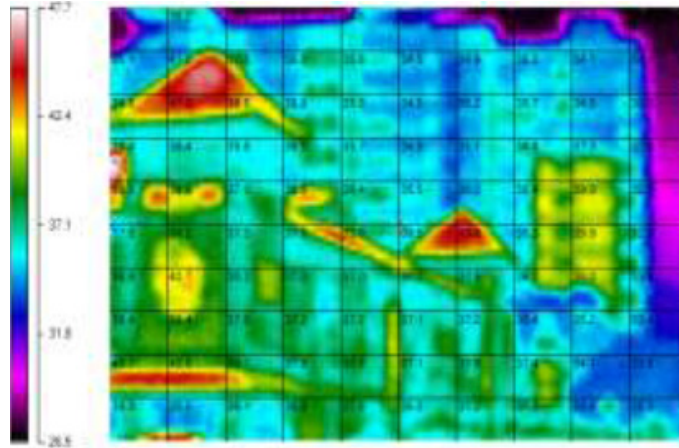
PERANTI TEDUHAN LUAR

Penghadang seperti *overhang* dan sirip menegak (*vertical fin*) boleh digabungkan dalam fasad bangunan bagi mengehadkan perolehan haba dalaman yang terhasil

daripada sinaran suria. (Gianpiero et al. 2017). Ianya mempunyai beberapa kelebihan yang boleh menyumbang kepada bangunan yang lebih mampan. Pertama, penghadang suria membantu dalam penjimatan kos dengan mengurangkan penerimaan suria/haba terus melalui

tingkap tanpa memerlukan penggunaan kaca berprestasi tinggi yang berkos tinggi. Faedah kedua ialah mengurangkan bebanan tenaga elektrik bagi penyejukan hawa dingin bangunan. Penghadang suria juga membantu mengurangkan

silau dalam ruang dalaman tanpa memerlukan penggunaan bidai. Penggunaan kaca berwarna (*tinted*) dapat dielak. Dengan penghadang suria, kawalan silau tidak bergantung pada operasi pengguna. (Carmody, 2007).



RAJAH 2. Contoh Imej Inframerah

KAJIAN LITERATUR

Penghadang suria luaran hendaklah dipilih mengikut orientasi tettingkap (Grondzik et al. 2011). Jadual di bawah

menunjukkan jenis penghadang suria yang paling sesuai untuk digunakan bagi setiap orientasi di hemisfera selatan. Ini adalah garis panduan dan sudah tentu, terdapat banyak variasi untuk jenis asas ini.

JADUAL 1. Jenis Penghadang Suria yang Paling Sesuai

Orientasi	Teduhan Berkesan
Utara (menghadap khatulistiwa)	Penghadang Mendatar Tetap
Timur atau barat	Peranti Menegak/ Louvres (boleh alih)
Selatan (menghadap kutub)	Tidak diperlukan

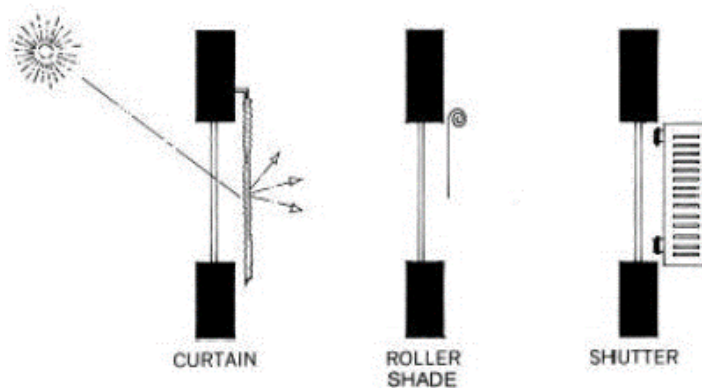


RAJAH 3. Contoh-contoh Penghadang Suria Luaran
 Sumber: Grondzik et al. (2011)

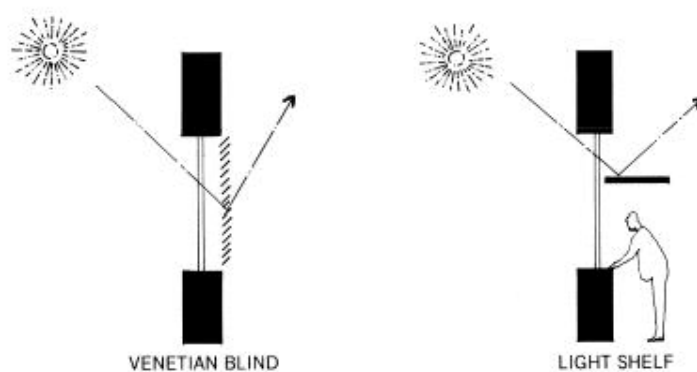
PENGHADANG SURIA DALAMAN

Dari sudut penolakan tenaga, penghadang suria luaran adalah yang paling berkesan (Grondzik et al., 2011). Walaubagaimanapun, penghadang suria dalaman seperti langsir, bidai gulung (*roller blind*), bidai Venetian dan bidai Roman juga sangat penting. Peranti dalaman selalunya lebih murah daripada peranti teduhan luaran, kerana ia tidak perlu menahan unsur-unsur cuaca luaran seperti

hujan. Ianya juga mudah laras dan boleh alih yang membolehkan mereka bertindak balas dengan mudah kepada pendedahan suria yang berubah-ubah. Selain teduhan, penghadang suria dalaman ini memberikan banyak faedah lain seperti privasi, kawalan silau, penebat dan estetika dalaman. Pada waktu malam, mereka juga menghalang ‘kesan lubang hitam’ (*black-hole effect*) yang terhasil oleh tingkap terdedah (Galloway 2004).



RAJAH 4. Penghadang Suria Dalaman untuk Kawalan
Sumber: Suria (Lechner 2009)



RAJAH 5. Penghadang Suria Dalaman (Grondzik et al. 2011)

JENIS PERANTI TEDUHAN

Menurut De Vries et al. (2021), penghadang suria luaran boleh dibahagikan kepada 4 jenis:

1. Penghadang Suria Mendatar / Jurai Mendatar / Louver (Horizontal Fin / Overhang / Louver)
2. Penghadang Suria Menegak (Vertical Fin)
3. Penghadang Suria Peti Telur (Eggcrate)
4. Tumbuh-tumbuhan

Semua penghadang suria direka bentuk sama ada sebagai sirip menegak, jurai mendatar (overhang) atau

kedua-dua kombinasi. Jurai mendatar adalah alternatif terbaik untuk fasad selatan. Ianya membiarkan cahaya matahari musim sejuk yang rendah masuk ke ruang dalaman manakala menghadang cahaya matahari musim panas yang tinggi dengan tidak menghalang pandangan. Penghadang suria luaran menegak berguna untuk pendedahan timur dan barat (Dalam konteks bangunan di hemisfera selatan/utara).

Eggcrate ialah gabungan sirip menegak dan overhang melintang. Penghadang suria eggcrate sesuai terutamanya untuk tingkap barat dan timur dalam iklim panas dan untuk orientasi barat daya dan tenggara dalam iklim yang sangat panas. Dengan penembusan matahari yang dominan oleh

kedua-dua sudut azimut dan ketinggian matahari, teduhan tingkap yang banyak boleh dicapai (Lau et al. 2016).

Dinding hijau ialah unsur organik tumbuhan yang dapat mengubah bangunan dan tapaknya menjadi satu entiti yang koheren. Lanskap lembut (softscape) dapat mengurangkan beban penyejukan bangunan disebabkan oleh tiga faktor iaitu pengurangan pemindahan haba dinding, sekatan sinaran suria dan penyejukan. Ia juga mengurangkan beban pemanasan melalui pengurangan pemindahan haba dinding dan memberi kesan penghalang terhadap angin, iaitu mengurangkan pemindahan haba permukaan luaran (Ganji et al. 2013)

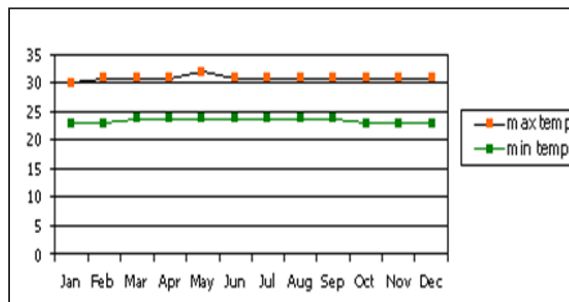
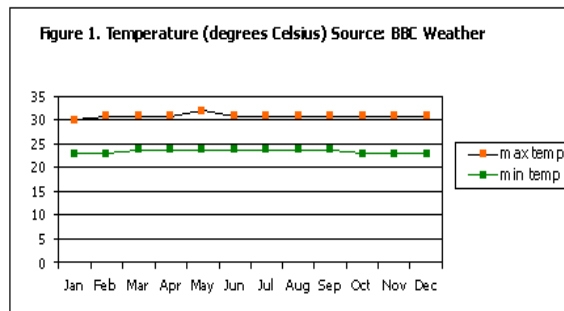
IKLIM SINGAPURA

Daripada laman web Meteorological Service Singapore, iklim Singapura dicirikan oleh suhu dan tekanan yang seragam, kelembapan yang tinggi dan hujan yang banyak kerana lokasi geografinya. Ia terletak hanya 1° utara

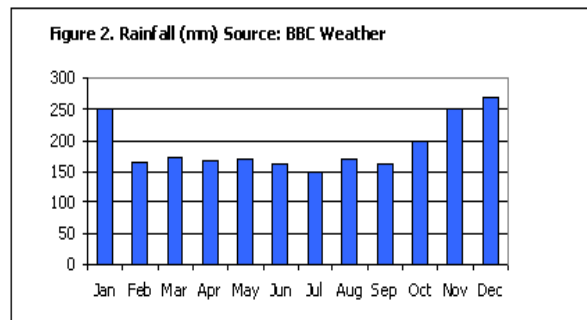
Berikut ialah klasifikasi penghadang suria pada fasad bangunan (Laura et al. 2014):

1. Louvers: Ianya boleh kekal atau boleh laras; ia menjejaskan pergerakan udara pada tahap tertentu dan memberikan naungan kepada bangunan daripada sinaran matahari.
2. Legap Boleh Alih: Langsir, tirai roller, awning dan lain-lain yang mengurangkan penerimaan suria tetapi menjejaskan pergerakan udara dan menghalang pandangan.
3. Kekal: Overhang bumbung yang memberikan perlindungan pada dinding dan bukaan terhadap matahari dan hujan.

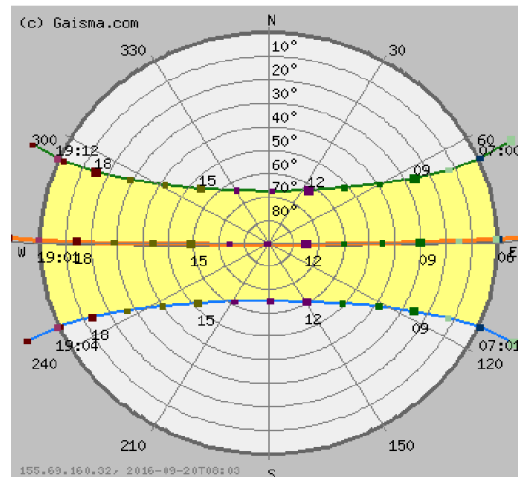
khatulistiwa dan mengalami iklim tropika / khatulistiwa. Purata suhu Singapura ialah antara 25°C dan 31°C. Ribut petir berlaku pada 40% daripada semua hari. Kelembapan relatif adalah dalam julat 70% – 80%. April adalah bulan paling panas; Januari adalah bulan paling sejuk dan November adalah bulan paling basah.



RAJAH 6. Suhu (°C) (Meteorological Service Singapore)



RAJAH 7. Taburan Hujan (mm) (Meteorological Service Singapore)



RAJAH 8. Singapore – Sun path diagram (Meteorological Service Singapore)

KAJIAN KES: KAMPUNG ADMIRALTY, SINGAPORE

Daripada laman web Designboom (2019), Arkitek WOHA telah mereka bentuk Kampung Admiralty, iaitu satu pembangunan bercampur bersepadu yang dilengkapi dengan pelbagai jenis kemudahan awam di bawah satu bumbung. WOHA mencipta perkampungan menegak

bercampur di kawasan yang tapaknya terhad, iaitu dengan had ketinggian 45 meter (148 kaki). Tingkat bawahnya menempatkan plaza komersil serta komuniti yang berhubung terus dengan sistem pengangkutan MRT.

Manakala pusat perubatan ditempatkan di tingkat podium yang juga mempunyai taman komuniti dengan akses ke blok tempat tinggal untuk warga emas.



RAJAH 9. Kampung Admiralty, Singapore (Designboom 2019)

Kampung Admiralty direka bentuk sebagai ruang komuniti, dengan pelbagai ruang acara dan program yang boleh diadakan di plaza tingkat bawahnya. Ruang luar ini dilindungi dari sinar suria dan oleh tingkat atas, justeru aktiviti boleh berlangsung tanpa dipengaruhi oleh cuaca atau keadaan iklim. Pusat perubatan di tingkat 2 dipenuhi dengan cahaya semula jadi kerana terdapatnya ruang courtyard. Terdapat juga taman komuniti dengan landskap teres bertingkat di tingkat podium. Penduduk sentiasa berada dalam persekitaran hijau dan taman.

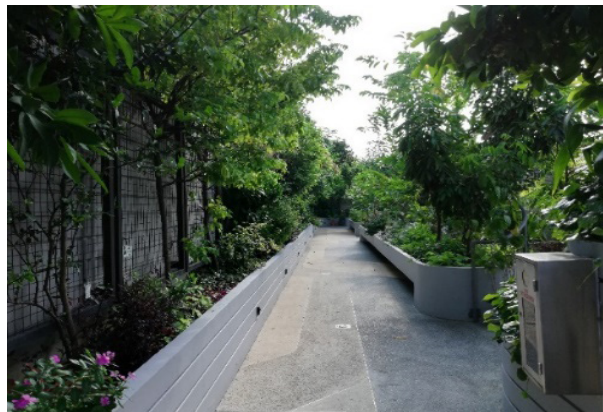
Penduduk berkumpul untuk bersenam, berbual atau menanam di taman atas podium bumbung. Terdapat beberapa program pelengkap lain seperti penjagaan kanak-kanak dan hab penuaan aktif (yang termasuk penjagaan warga emas) terletak bersebelahannya yang menghimpunkan penduduk dari pelbagai peringkat umur, sekali gus meningkatkan hubungan antara kanak-kanak dan warga tua. Sebanyak 104 pangsapuri direka dalam dua blok 11 tingkat untuk penduduk bujang atau pasangan warga emas

JADUAL 2. Maklumat Asas Kampung Admiralty

Arkitek	WOHA
Klien / Pengguna	Singapore Housing and Development Board
Jenis Projek	Penggunaan Bercampur
Saiz	350 000 kaki persegi
Tahun Siap	2017
Kos	
\$128 000 000	
Lokasi	Woodlands
Luas Tapak	8 981.00 sqm
Luas Kasar	32 331.60 sqm
Nisbah Plot	3.60
Ruang Komuniti	10 030.39 sqm
Nisbah Plot komuniti	1.12
Keberkesanan	71.79%
Nisbah Plot Hijau	1.25
Tempat Letak Kereta	2 aras basemen (252 lot kereta, 12 lot motosikal dan 364 tempat letak basikal automatik)



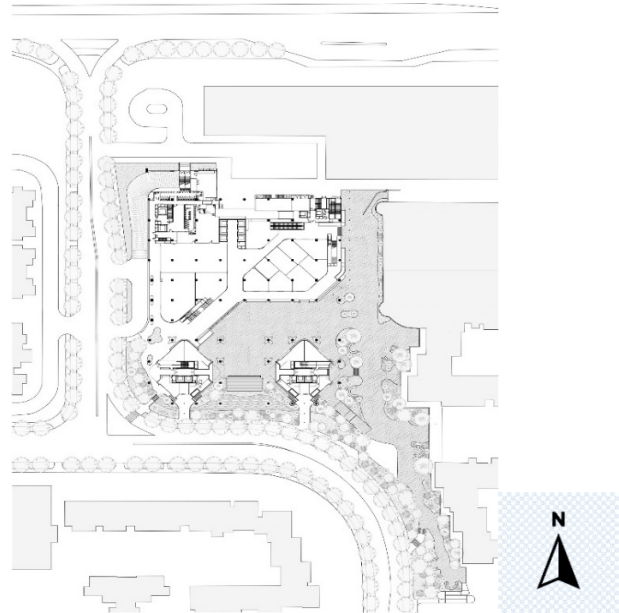
RAJAH 10. Teres Hijau Bertingkat



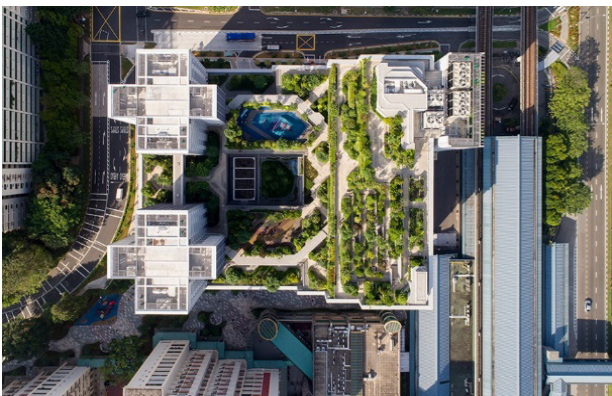
RAJAH 11. Kawasan Tanaman Komuniti



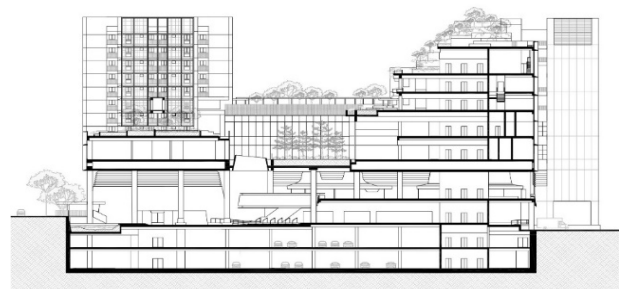
RAJAH 12. Plaza di Tingkat Bawah



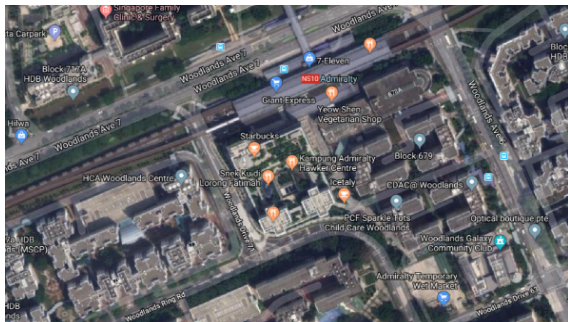
RAJAH 15. Pelan Tapak Kampung Admiralty, Singapore (Designboom 2019)



RAJAH 13. 3 Blok Unit Bersambung (Designboom 2019)

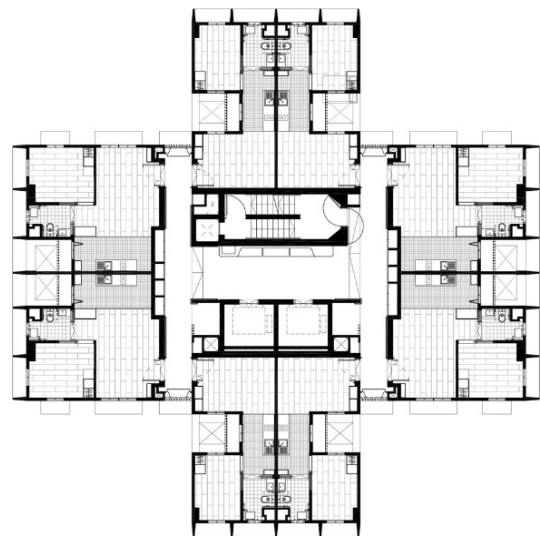


RAJAH 16. Keratan Kampung Admiralty, Singapore (Designboom 2019)



RAJAH 14. Lokasi Kampung Admiralty, Singapore (Google Maps, 2019)

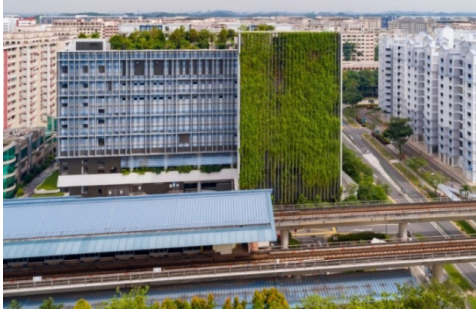
Lokasi bangunan ditunjukkan dalam Rajah 14. Orientasi Kampung Admiralty ialah orientasi utara-selatan. Pintu masuk bangunan adalah dari arah barat manakala fasad utama bangunan menghadap ke arah selatan. Fasad konkrit pratuang (*precast*) bangunan dibahagikan kepada blok kecil yang disebut sebagai ‘bar coklat’ atau *eggcrate*. Fasad seperti ini bukan sahaja menunjukkan kesederhanaan dalam reka bentuk bangunan tetapi juga berfungsi dalam mengurang penerimaan cahaya dan silau matahari.



RAJAH 17. Pelan Lantai Unit Tipikal (Designboom 2019)

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

ANALISIS PERANTI TEDUHAN



RAJAH 18. Fasad Belakang (Tumbuhan Tegak dan Penghadang Suria Peti Telur / *Egg Crate*) (Designboom 2019)



RAJAH 19. Fasad Kanan (*Eggcrate*) (Designboom 2019)



RAJAH 20. Fasad Kiri (*Eggcrate*) (Designboom 2019)



RAJAH 21. Fasad Hadapan (*Eggcrate* dan Menegak) (Designboom 2019)

JADUAL 3. Klasifikasi Teduhan Suria Kampung Admiralty

Arah	Teduhan Berkesan	Applikasi di Kampung Admiralty	Bahan Binaan Gunaan
Timur atau Barat	Penghadang suria melintang tetap	Sistem <i>eggcrate</i> & tingkap gelas tunggal Tumbuhan	750mm pratuang dalam (<i>deep precast</i>) <i>eggcrate</i>
Utara	Penghadang suria menegak/ louver (mudah alih)	Sistem <i>eggcrate</i> & tingkap gelas tunggal	750mm pratuang dalam (<i>deep precast</i>) <i>eggcrate</i>
Selatan	Tidak diperlukan	Sistem <i>eggcrate</i> & tingkap gelas tunggal Peranti teduhan mendatar	750mm pratuang dalam (<i>deep precast</i>) <i>eggcrate</i> & awning konkrit

PENGHADANG SURIA PETI TELOR
(EGGCRATE)

Eggcrate ialah gabungan sirip menegak dan overhang melintang (*louver*). Dengan penembusan matahari yang dominan oleh kedua-dua sudut azimut dan ketinggian matahari, teduhan tingkap yang sangat baik boleh dicapai.



RAJAH 22. Penghadang suria *Eggcrate* (Designboom 2019)

TEDUHAN DARIPADA TUMBUHAN

Faedah berbeza daripada tumbuhan berdaun dapat dicapai termasuk privasi visual, kos rendah, keupayaan untuk mengurangkan silau, kualiti estetik yang menyenangkan



RAJAH 24. Teduhan dalaman (Designboom 2019)

dan keupayaan untuk menyejukkan udara melalui penyejukan dari daun.

PENGHADANG SURIA LUAR MENDATAR

Jenis penghadang suria mendatar adalah alternatif terbaik untuk fasad selatan. Penghadang mendatar dalam satah yang sangat mendatar mengurangkan beban struktur dengan membenarkan angin menembusnya.



RAJAH 23. Penghadang suria mendatar (Designboom 2019)

PENGHADANG SURIA DALAMAN

Penghadang suria dalaman adalah seperti seperti langsir, bidai *roller*, bidai *venetian* dan *shutter*.

JADUAL 4. Ringkasan teduhan suria bagi Kampung Admiralty

Jenis Tingkap		Orientasi Teduhan			
Mendatar	Menegak	Luaran	Dalaman	Luaran & Dalaman	Tiada
Ya	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Jenis Teduhan					

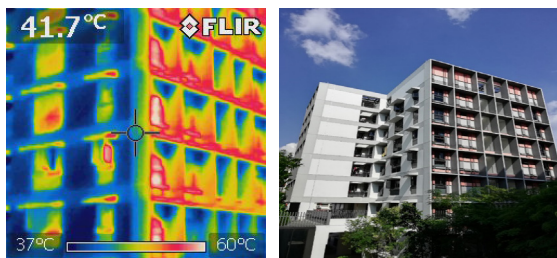
bersambung ...

... sambungan

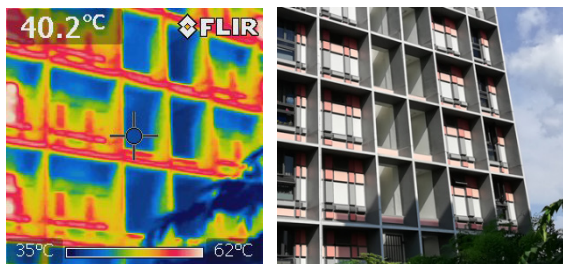
Mendatar	Ya
Menegak	Ya
Mudah alih	Tidak
Tetap	Ya
Eggcrate	Ya
Tiada	Tidak

ANALISIS PRESTASI TERMA

Kajian ini dijalankan pada waktu petang iaitu 3 petang hingga 4 petang, dan ini adalah kerana cahaya matahari pada waktu pagi tidak begitu terik seperti pada waktu petang, dan lebih penting untuk diukur. Imej terma kajian kes pada 14 Oktober 2019 ditunjukkan seperti di bawah. Suhu permukaan fasad selatan Kampung Admiralty boleh diperhatikan dengan kamera pengimejan terma. Rajah 25 menunjukkan peranti teduhan mendatar dan suhu purata adalah sekitar 41.7°C. Rajah 26 menunjukkan sistem eggcrate dan suhu purata adalah sekitar 40.2 °C.

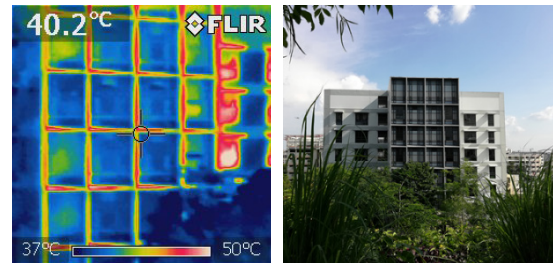


RAJAH 25. Imej Inframerah Bangunan

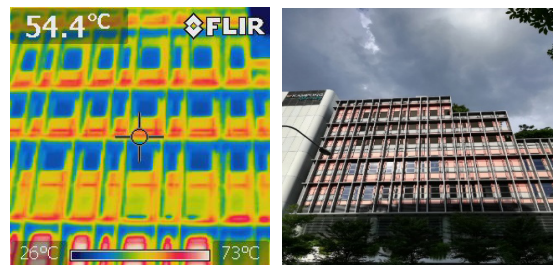


RAJAH 26. Imej Inframerah Bangunan

Dalam Rajah 27, suhu permukaan fasad utara Kampung Admiralty boleh diperhatikan dengan kamera pengimejan terma. Suhu purata yang tergolong dalam sistem eggcrate ialah kira-kira 40.2°C. Dalam Rajah 28, fasad barat bangunan ialah suhu purata tertinggi sekitar 54.4°C.

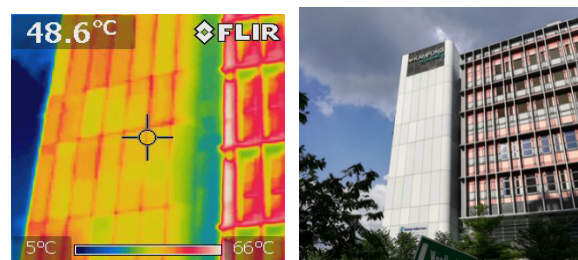


RAJAH 27. Imej Inframerah Bangunan

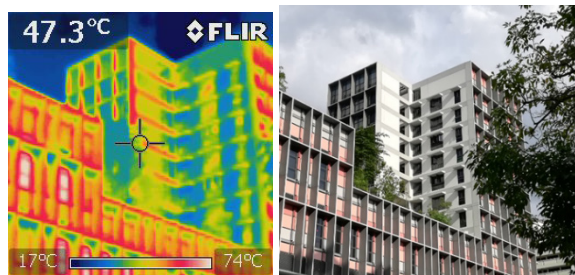


RAJAH 28. Imej Inframerah Bangunan

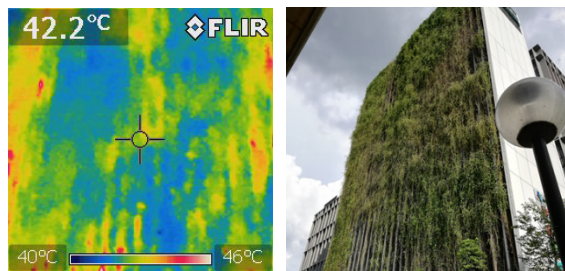
Suhu permukaan fasad barat Kampung Admiralty boleh diperhatikan dengan kamera pengimejan haba. Rajah 29 menunjukkan sistem eggcrate dan suhu purata adalah sekitar 48.6°C. Rajah 30 menunjukkan penghadang suria mendatar dan suhu puratanya adalah sekitar 47.3 °C.



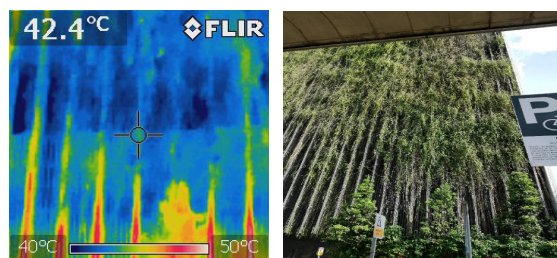
RAJAH 29. Infrared image of building



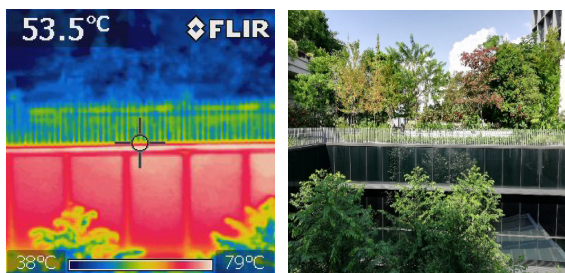
RAJAH 30. Infrared image of building



RAJAH 31. Infrared image of building



RAJAH 32. Infrared image of building



RAJAH 33. Imej Inframerah Bangunan

Dalam Rajah 31 dan Rajah 32, purata suhu permukaan muka bumi utara Kampung Admiralty boleh diperhatikan dengan kamera pengimejan termal. Suhu purata yang tergolong dalam kawasan hijau adalah kira-kira 40.0°C iaitu dinding hijau menegak sebagai teduhan suria. Purata suhu dalam rajah 32 adalah tertinggi sekitar 53.5 °C kerana kawasan kaca tanpa penghadang suria.

KESIMPULAN

Penghadang suria luaran adalah penting untuk menyekat atau menapis di mana cahaya matahari langsung melalui kaca yang boleh meningkatkan beban penyejukan. Penghadang suria boleh direka bentuk dan disesuaikan dengan pelbagai saiz tingkap dan *skylight*, walaubagaimanapun kos yang lebih dan kesan pada fasad bangunan. Penghadang surialuaran yang berkesan menghalang semua atau kebanyakan cahaya matahari langsung, walaupun ia menerima cahaya tidak langsung dari langit. Setiap fasad bangunan memerlukan rawatan penghadang suria yang berbeza kerana dedahan cahaya matahari setiap sisi dari sudut yang berbeza. Fasad selatan paling baik dengan penghadang suria mendatar. Fasad timur dan barat memerlukan penghadang suria yang menghalang cahaya matahari masuk pada sudut rendah. Fasad utara boleh dibiarkan tidak berhadang. Dinding hijau dengan min dan tumbuh-tumbuhan padat tinggi berprestasi lebih berkesan daripada penebat haba untuk mengurangkan beban penyejukan bangunan.

RUJUKAN

- Mohammad, A., Tariq, M.A.U.R., Ng, A.W.M, Zaheer, Z., Sadeq, S., Mohammed, M., & Mehdizadeh-Rad. 2022. Reducing the cooling loads of buildings using shading devices: A case study in Darwin. *Sustainability* 14(7): 3775.
- Lau, A.K.K., Salleh, E., Lim, C.H., Sulaiman, M.Y. 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.
- Carmody, J., & Haglund, K. 2007. The impact of external shading devices in commercial buildings - How exterior shading devices impact energy use, peak demand, and glare control. *Heating / Piping / Air Conditioning Engineering: HPAC*, 27, 14
- Designboom. 2019. <https://www.designboom.com/architecture/woha-kampung-admiralty-singapore-10-30-2018/> (12 Nov 2019)
- De Vries, S.B.; Loonen, R.C.G.M.; Hensen, J.L.M. 2021. Multi-state vertical-blinds solar shading - Performance assessment and recommended development directions. *Building Engineering* 40:102743.
- De Luca, F., A. Sepúlveda, T. Varjas. 2022. Multi-performance optimization of static shading devices for glare, daylight, view and energy consideration. *Building & Environment* 217:109110.

- Galloway, T. 2004. *Solar House*: Routledge
- Ganji, H., Mohammad, B. & Norouzian, H. 2013. Thermal performance of vegetation integrated with the building façade. *Proceeding Conference: Enova International Congress*
- Gianpiero E., Federica G., Luigi M. 2017. The role of shading devices to improve thermal and visual comfort in existing glazed buildings. *Energy Procedia* 134: 346–355.
- Google Maps 2019. <https://goo.gl/maps/mFSM8xfoeB455CkAA> (12 Nov 2019)
- Grondzik, W. T., Kwok, A. G., Stein, B., & Reynolds, J. S. 2011. *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*. John Wiley & Sons.
- Laura B., Concetta M., Francesco M., Alessia P. 2014. An overview on solar shading systems for buildings. *Energy Procedia* 62: 309-317.
- Lechner, N. 2009. *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architect*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Meteorological Service Singapore <https://www.weather.gov.sg/climate-climate-ofsingapore/#:~:text=The%20daily%20temperature%20range%20has,hour%20mean%20of%2026.0%C2%BAC> (19 June 2023)
- Palmero-Marrero, Ana I. & Oliveira, Armando C., 2010. Effect of louver shading devices on building energy requirements *Applied Energy, Elsevier* 87(6): 2040-2049.
- Sahel S. 2014. The evaluation of office buildings in terms of shading devices. Eastern Mediterranean University Institutional Repository. Thesis.
- Yasser A., Ahmad S. H., Bushra Q. 2018. Thermal surface analysis on neo-minimalist apartment facades in Penang, Malaysia. *SHS Web Conference* 45.