

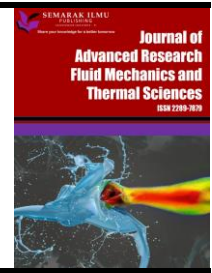


## Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences

Journal homepage:

[https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/fluid\\_mechanics\\_thermal\\_sciences/index](https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/fluid_mechanics_thermal_sciences/index)

ISSN: 2289-7879



### Thermal Comfort in a Tropical Climate: Case Study of the Cafeteria in Student Residential College, UTHM Pagoh Branch Campus

### Keselesaan Terma Terhadap Iklim Tropika: Kajian Kes di Kafeteria Kolej Kediaman Pelajar, UTHM Kampus Cawangan Pagoh

Nur Nabilah Mohamad Sahimi<sup>1</sup>, Mohd Syafiq Syazwan Mustafa<sup>1,\*</sup>, Rahmat Muslim<sup>1</sup>, Nurul Hidayah Roslan<sup>1</sup>, Fatimah Yusop<sup>1</sup>, Azian Hariri<sup>2</sup>, Anies Faziehan Zakaria<sup>3</sup>, Muhamad Faiz Abd Latif<sup>1</sup>, Hashim Kabrein<sup>4,5</sup>, Faizal Amin Nur Yunus<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Engineering Technology, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 84600 Pagoh, Johor, Malaysia

<sup>2</sup> Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 86400 Parit Raja, Batu Pahat, Johor, Malaysia

<sup>3</sup> Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

<sup>4</sup> Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, International University of Africa, Khartoum, Sudan

<sup>5</sup> Safat College of Science & Technology, Khartoum, Sudan

<sup>6</sup> Faculty of Technical and Vocational Education, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 86400 Parit Raja, Batu Pahat, Johor, Malaysia

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 6 November 2023

Received in revised form 26 January 2024

Accepted 6 February 2024

Available online 29 February 2024

#### ABSTRACT

Thermal comfort is important for buildings, especially in tropical climates. The issue of increasing indoor temperature is influenced by various factors that cause occupants to face thermal discomfort in cafeterias that uses both mechanical and natural ventilation systems. This study aims to determine the perception of occupants and evaluate parameter variations of thermal comfort in the cafeteria of Pagoh Campus Residential College, UTHM Pagoh Branch Campus. This study was conducted through the measurements of subjective and physical parameters. Data collection is carried out in two days, which are weekdays and weekends. This study uses some parameters variation which are thermal sensation vote index (TSV), predicted mean vote index (PMV), predicted percentage of dissatisfaction (PPD), operative temperature (To) and neutral operative temperature (Tneutop) to determine the thermal comfort conditions in the cafeteria. The results shows that the average values of air temperature, mean radiation temperature, relative humidity and air velocity from environmental measurements were 30.2 °C, 30.6 °C, 66% and 0.1 m/s respectively. In addition, PMV and PPD values were 2.0 and 76% from environmental measurements, while 1.36 and 43% from questionnaires. For To and Tneutop, the average values obtained are 30.4 °C and 28.6 °C. Furthermore, the findings showed that only the morning session was in the acceptable operative temperature range and complied with ASHRAE Standard 55 for both the 80% and 90% acceptability limits. At the end of the study, it was found that the values from the thermal environment measurements and surveys exceeded those recommended by ASHRAE Standard 55. This concluded that the quality of the occupants' environment in the cafeteria is outside the satisfactory thermal comfort level. Therefore, the improvement

\* Corresponding author.

E-mail address: [mohdsyafiq@uthm.edu.my](mailto:mohdsyafiq@uthm.edu.my)

<https://doi.org/10.37934/arfmts.114.2.165187>

---

through mechanical ventilation may very helpful in improving a good ventilation system as well as encouraging an increase in thermal comfort in the building.

Keselesaan terma adalah penting untuk bangunan terutamanya di kawasan yang beriklim tropika. Isu peningkatan suhu dalaman yang dipengaruhi oleh pelbagai faktor mengakibatkan penghuni menghadapi ketidakselesaan terma di kafeteria yang menggunakan sistem mekanikal dan pengudaraan semula jadi. Kajian ini bertujuan menentukan persepsi penghuni dan menilai variasi parameter mengenai keselesaan terma di kafeteria, Kolej Kediaman Kampus Pagoh, UTHM Kampus Cawangan Pagoh. Kajian ini dijalankan melalui pengukuran parameter subjektif dan fizikal. Pengumpulan data dijalankan selama dua hari iaitu pada hari bekerja dan hari minggu. Kajian ini menggunakan beberapa variasi parameter iaitu indeks undian sensasi terma (TSV), indeks undian min ramalan (PMV), peratusan ramalan tidak berpuas hati (PPD), suhu operatif ( $T_o$ ) dan suhu operatif neutral ( $T_{neutop}$ ) untuk menentukan keadaan keselesaan terma di dalam kafeteria. Keputusan menunjukkan nilai purata suhu udara, min suhu sinaran, kelembapan relatif dan halaju udara dari pengukuran persekitaran adalah 30.2 °C, 30.6 °C, 66% dan 0.1 m/s. Selain itu, nilai PMV dan PPD adalah 2.0 dan 76% daripada pengukuran persekitaran, manakala 1.36 dan 43% daripada soal selidik. Bagi  $T_o$  dan  $T_{neutop}$ , nilai purata yang diperolehi adalah 30.4 °C dan 28.6 °C. Tambahan lagi, dapatan menunjukkan bahawa hanya sesi pagi yang dikaji berada di julat suhu operasi yang boleh diterima dan mematuhi piawaian ASHRAE Standard 55 untuk kedua-dua had kebolehterimaan 80% dan 90%. Pada akhir kajian mendapati bahawa nilai dari pengukuran persekitaran terma dan kaji selidik melebihi had yang disyorkan oleh ASHRAE Standard 55. Ini merumuskan kualiti persekitaran penghuni di kafeteria berada diluar tahap julat keselesaan terma yang tidak memuaskan. Oleh itu, penambahbaikan melalui pengudaraan mekanikal berkemungkinan sangat membantu dalam meningkatkan sistem pengudaraan yang baik sekaligus mendorong kepada peningkatan keselesaan terma dalam bangunan.

**Keywords:**

Thermal comfort; natural ventilation; tropical climate

Keselesaan terma; pengudaraan semula jadi; iklim tropika

---

## 1. Pendahuluan

Perubahan iklim dan pemanasan global adalah isu yang memberi kesan kepada manusia di seluruh dunia pada masa kini dan juga kepada generasi akan datang. Salah satu impaknya ialah fenomena kenaikan suhu udara dunia yang mengakibatkan berlakunya ketidakselesaan persekitaran udara dalaman [1]. Pada masa kini, mewujudkan persekitaran yang selesa dari segi terma masih salah satu parameter yang paling penting untuk dititikberatkan semasa mereka bentuk bangunan. Penilaian persekitaran terma dipertimbangkan bersama-sama dengan elemen lain seperti kualiti udara, cahaya dan akustik. Jika persekitaran seharian mengecewakan, prestasi penghuni sudah pasti akan menurun dan memberi kesan kepada produktiviti individu [32]. Beberapa preskripsi keselesaan terma secara terperinci telah diwujudkan untuk persekitaran dalaman seperti ASHRAE *Standard* 55-2017 [2,3]. Menurut ASHRAE *Standard* 55, keselesaan terma ditakrifkan sebagai “keadaan minda yang menyatakan kepuasan dengan persekitaran terma”. Keselesaan terma sesuatu kawasan ditentukan oleh pelbagai faktor, termasuk faktor peribadi dan persekitaran. Faktor peribadi termasuk kadar metabolisme dan penebat pakaian manakala faktor persekitaran termasuk halaju udara, suhu udara, kelembapan relatif dan min suhu sinaran [3,4].

Terdapat beberapa model untuk mengukur keselesaan terma dalam bangunan. Walau bagaimanapun, yang paling kerap digunakan adalah “model rasional Fanger” dan “model mudah suai”. Model pertama berfungsi dengan lebih baik dalam bangunan berhawa dingin di mana penghuni tidak dapat bertindak balas terhadap perubahan keadaan. Manakala, model kedua berfungsi dengan lebih baik dalam keadaan pengudaraan semula jadi (NV) dan sesuai dengan model mudah suai. Teknik mudah suai digambarkan sebagai “pendekatan seni bina yang khusus kepada individu dan persekitaran” dan kaedah rasional sebagai “model terancang dengan ciri-ciri yang berketentuan” [6,7].

Piawaian antarabangsa seperti ASHRAE *Standard* 55 dan ISO 7730 digunakan secara meluas untuk menilai keadaan keselesaan terma dalam persekitaran dalaman. Pada asasnya, ASHRAE *Standard* 55-2017 dan ISO 7730 adalah berdasarkan model keseimbangan haba Fanger (1970) iaitu PMV dan PPD [3,5,18]. Selama dua setengah dekad terakhir, banyak kajian lapangan yang dilakukan oleh para penyelidik telah menunjukkan bahawa pendekatan PMV dan PPD gagal menguasai keseluruhan spektrum parameter yang berkaitan dengan aspek psikologi, fisiologi, dan sosio-budaya. Parameter-parameter ini memainkan peranan penting dalam mekanisme penyesuaian yang dialami oleh penghuni dalam persekitaran dalaman yang berbeza yang mempengaruhi persepsi dan harapan mereka terhadap keselesaan terma. Parameter-parameter keselesaan terma yang disebutkan di atas menjadi sebahagian daripada kajian apabila prinsip keselesaan terma mudah suai diterapkan untuk mencatat respons terma subjek dalam kajian lapangan [33]. Keselesaan terma mudah suai melalui pelbagai kajian lapangan telah menunjukkan potensi besar dalam penilaian persekitaran terma dalaman dan mengurangkan penggunaan tenaga bangunan tanpa menafikan keselesaan penghuni [8].

Beberapa elemen yang berkaitan dengan keselesaan terma mudah suai telah disiasat dan hasilnya terdapat tiga mod penyesuaian iaitu: (1) penyesuaian tingkah laku (peribadi, persekitaran, teknologi, atau budaya), (2) fisiologi (penyesuaian genetik atau penyesuaian fisiologi), dan (3) psikologi (pengadaptasian atau harapan) [6,9]. Luo *et al.*, [10] menyatakan bahawa persepsi keselesaan individu berkait rapat dengan sejarah terma mereka dan pengalaman terma jangka panjang mungkin mengubah jangkaan terma mereka. Selain itu, kepuasan individu adalah hasil keseimbangan antara persekitaran fizikal dan jangkaan keselesaan mereka, yang berkait rapat dengan pengalaman terkini mereka. Selanjutnya, mereka mendapati bahawa pengalaman terma yang selesa dalam jangka masa panjang meningkatkan jangkaan terma, manakala pengalaman persekitaran terma yang tidak neutral boleh mengaktifkan proses adaptasi. Oleh itu, keselesaan terma dan kepuasan berkait rapat dengan latar belakang terma, sosial dan budaya, dan boleh berubah. Seperti yang disebutkan di atas, individu terutamanya mereka yang dari latar belakang yang berbeza, mempunyai sensasi keselesaan terma yang berbeza disebabkan oleh pelbagai faktor [10,11].

Di kawasan beriklim panas dan lembab seperti Malaysia, penyejukan pasif sentiasa diperlukan untuk mewujudkan persekitaran dalaman yang selesa. Penyejukan pasif terdiri daripada pengudaraan semula jadi yang menggunakan daya semula jadi seperti angin. Pengudaraan semula jadi adalah strategi penting untuk meningkatkan keselesaan terma dalam bangunan dalam iklim panas dan lembab. Halaju udara pada had tertentu boleh memberikan sensasi nyaman dengan meningkatkan kadar penyejukan daripada permukaan kulit. Justeru itu, pengudaraan semula jadi boleh membuatkan udara dalaman bertambah baik [12]. Pada dasarnya, pengudaraan semula jadi adalah peredaran udara yang menggerakkan udara luar ke dalam bangunan melalui perbezaan daya semula jadi. Walau bagaimanapun, adalah sukar untuk mengekalkan tekanan negatif yang berterusan kerana kebergantungan kepada iklim luaran merupakan satu cabaran [13]. Tambahan pula, keselesaan terma dan kualiti udara mempunyai kesan yang besar terhadap produktiviti penghuni [14]. Oleh itu, digalakkan untuk memastikan aktiviti penghuni dioptimumkan sekaligus memastikan produktiviti mereka dimaksimumkan [15].

Menurut Zulkifli Hanafi [17], keselesaan terma merupakan aspek pengkajian tentang tindak balas badan manusia terhadap kesan iklim. Iklim yang dimaksudkan di sini ialah iklim bagi sesuatu kawasan yang ditentukan oleh keadaan angin lazim serta unsur-unsurnya seperti sinaran matahari, suhu, kelembapan udara, angin dan kerpasan yang boleh memberi kesan kepada keadaan haba di sesuatu bangunan. Hubungan keselesaan manusia dengan persekitarannya bergantung kepada beberapa faktor seperti keadaan fizikal, psikologi dan sosiologi. Keselesaan terma dikatakan suatu kualiti yang

subjektif yang bergantung kepada seseorang individu untuk mentafsirkannya. Oleh itu, amat sukar untuk mewujudkan persekitaran yang selesa bagi semua orang. Walau bagaimanapun, menurut Fanger [18], sekiranya terdapat 95% daripada individu berpuas hati terhadap persekitaran terma mereka, keadaan ini sudah dikatakan persekitaran optimum [16-18].

Selain itu, terdapat beberapa faktor yang perlu diambil kira dalam menentukan keselesaan terma. Faktor pergerakan angin, suhu udara, kelembapan bandingan, dan sinaran matahari merupakan faktor alam sekitar yang utama dalam menentukan keselesaan terma manakala faktor fizikal lain dan faktor subjektif bergantung kepada diri individu itu sendiri dan kebolehan mereka untuk menyesuaikan diri dengan keadaan persekitaran mereka. Selain itu, etnik yang berbeza memiliki perbezaan suhu keselesaan terma dan tingkah laku penyesuaian terma tertentu, dan model penyesuaian yang berbeza akan mempengaruhi persepsi keselesaan terma [19]. Penentuan keselesaan ini boleh dilakukan secara empirik iaitu melalui kaedah pengukuran suhu di stesen persampelan kajian, zon keselesaan yang diberikan oleh para pengkaji dan melalui kaedah teori iaitu dengan melihat tanggapan orang ramai di dalam menentukan tahap keselesaan di kediaman mereka. Melalui kaedah teori, skala keselesaan diberikan untuk mengetahui keadaan keselesaan suatu persekitaran itu.

Dalam menilai keselesaan terma di ruang yang diduduki, dua indeks umum yang banyak digunakan dalam komuniti saintifik adalah Undian Min Ramalan (PMV) dan Peratusan Ramalan Tidak Berpuas Hati (PPD). PMV dan PPD didefinisikan dalam ISO 7730 dan ASHRAE Standard 55-2017 dan dikembangkan oleh Fanger (1970) dengan mengambil respon dari penghuni mengenai keselesaan terma di bawah keadaan terkawal [5,3,18]. PMV adalah undian min ramalan keselesaan terma oleh kumpulan besar penghuni di bawah keadaan terma yang sama. PMV diklasifikasikan menggunakan skala 7 tahap: -3 (dingin), -2 (sejuk), -1 (sedikit sejuk), 0 (neutral), +1 (sedikit hangat), +2 (hangat), dan +3 (panas). Model PMV menggabungkan empat pemboleh ubah fizikal, iaitu halaju udara, suhu udara, min suhu sinaran dan kelembapan relatif, dan dua parameter tambahan yang berkaitan dengan penghuni; isolasi pakaian dan tahap aktiviti. Indeks PPD yang lain mengukur peratus individu yang tidak berpuas hati dengan iklim dalaman. Indeks-indeks ini telah digunakan dalam penyelidikan terdahulu yang menilai keselesaan terma di ruang yang diduduki [20, 21]. Jadual 1 menunjukkan nilai indeks dan keadaan keselesaan.

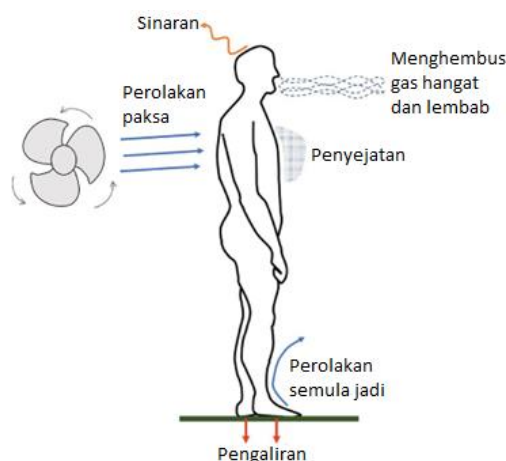
**Jadual 1**  
Nilai PMV dan keadaan keselesaan

PMV	Keadaan Selesa
+3	Panas
+2	Hangat
+1	Sedikit hangat
0	Neutral (keselesaan)
-1	Sedikit sejuk
-2	Sejuk
-3	Dingin

Untuk seseorang berasa selesa terma, haba berlebihan dalam badan yang dihasilkan oleh metabolisme harus dipindahkan ke persekitaran bagi mengelakkan implikasi "overheat" agar suhu teras badan dapat dijaga secara malar. Homeostasis adalah suatu mekanisme tubuh manusia yang dapat mengekalkan suhu tubuh sekitar 37 °C bagi memastikan sistem dalam tubuh manusia berjalan secara normal dan berasa selesa terma. Dalam kata lain, seseorang akan berasa selesa terma apabila orang tersebut tidak merasa 'terlalu panas atau terlalu sejuk' atau dalam keadaan terma neutral apabila berada dalam sesuatu persekitaran. Individu tersebut perlu sihat dan memakai pakaian dalam jumlah yang normal semasa penilaian dilakukan. Namun, kerana pengaliran haba ke

persekitaran berbeza antara individu yang lain, suhu yang diterima sebagai selesa juga berbeza antara individu, walaupun mereka terdedah kepada persekitaran dalaman yang sama. Ini disebabkan oleh perbezaan dalam usia, kesihatan, status, jenis pakaian yang dipakai, dan kadar aktiviti. Oleh itu, sukar untuk menetapkan keadaan atau piawaian yang dapat memuaskan semua orang kerana perbezaan ini. Oleh kerana kebarangkalian untuk memuaskan 100% orang pada masa yang sama di ruang dalaman yang sama adalah sukar, ASHRAE *Standard* 55-2017 mencadangkan bahawa apabila 80% atau lebih penghuni bangunan menerima syarat terma dalaman, maka ruang dalaman tersebut boleh dianggap diterima oleh penghuni [22].

Proses pembuangan atau penyingkiran haba dari badan ini melalui tiga kaedah utama iaitu kaedah perolakan, radiasi (sinaran) dan penyejatan. Selain itu, haba boleh disingkirkan dari badan melalui kaedah konduksi iaitu melalui kaki (tanpa sarung) yang menyentuh lantai yang sejuk. Akan tetapi, tiga kaedah di atas lebih efektif bagi menyingkirkan haba dari badan [23]. Rajah 1 menunjukkan penyingkiran haba dari badan ke persekitaran dengan kaedah perolakan, sinaran, penyejatan dan konduksi (pengaliran).



Raj. 1. Penyingkiran haba dari badan [24]

Di samping itu, pada masa kini individu menghabiskan lebih dari 90% masa mereka dalam bangunan. Di Malaysia, reka bentuk bangunan yang lemah sering menyebabkan ruang menjadi terlalu panas pada waktu siang dan terlalu sejuk pada waktu malam. Oleh itu, penghuni memerlukan sistem pengudaraan mekanikal seperti kipas siling di dalam bangunan dan menetapkannya pada kelajuan maksima untuk menyejukkan ruang. Apabila penghuni tidak selesa dengan persekitaran terma mereka, kepuasan terma dan keupayaan mereka untuk melakukan aktiviti akan menurun. Mengeksploitasi aplikasi kejuruteraan semasa mereka bentuk bangunan sangat penting untuk menghasilkan keselesaan terma yang boleh diterima. Keselesaan terma dalam ruang pengudaraan semula jadi biasanya dipengaruhi oleh penebat pakaian dan tahap aktiviti penghuni.

Ketidakselesaan terma persekitaran dalaman bangunan kafeteria boleh mewujudkan keadaan yang tidak memuaskan kepada pengguna kafeteria. Ini boleh mengganggu perhatian penghuni dan berkemungkinan mengurangkan produktiviti dan prestasi mereka. Cabaran kepada pereka bentuk adalah untuk menghasilkan reka bentuk bangunan kafeteria yang memenuhi tahap keselesaan terma dan penggunaan tenaga minimum dengan kos yang kompetitif. Dalam konteks kafeteria kolej kediaman pelajar, penyediaan ruangan yang menggunakan pengudaraan semula jadi bertujuan untuk mengurangkan kos pembinaan dan kos operasi di samping menyediakan akses kepada golongan pelajar yang tinggal di kolej kediaman sepanjang tempoh pengajian. Walaupun keselesaan terma tidak menjadi faktor utama dalam pembinaan bangunan pada masa dahulu, namun kini adalah

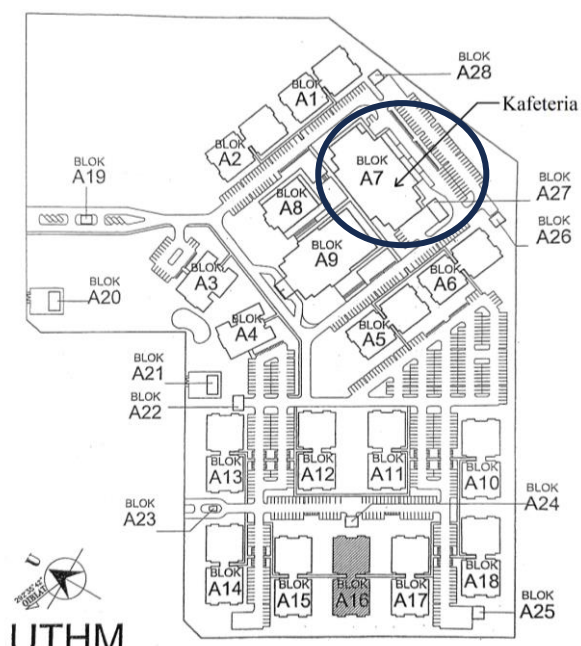
menjadi keperluan dengan melihat semula isu perubahan iklim. Sehubungan dengan itu, wujud keperluan untuk menambah baik tahap keselesaan terma untuk kafeteria di kolej kediaman pelajar ini. Untuk kajian keselesaan terma ini, kafeteria Kolej Kediaman Kampus Pagoh dipilih. Kafeteria ini direka bentuk dengan sistem pengudaraan semula jadi bertujuan untuk memberi keselesaan kepada penghuni bangunan terutamanya pelajar yang memerlukan ruangan kondusif untuk aktiviti dengan penggunaan metode atau penerapan sistem tenaga rendah [13].

Objektif kajian ini ialah untuk menentukan persepsi penghuni di kafeteria, Kolej Kediaman Kampus Pagoh terhadap keselesaan terma dan menilai variasi parameter keselesaan terma untuk menentukan keadaan keselesaan terma di dalam bangunan. Secara khusus, kajian ini bertujuan untuk menentukan persepsi penghuni dan menilai variasi parameter yang berkaitan dengan keselesaan terma di kafeteria. Kajian ini memberi tumpuan kepada pengukuran persepsi subjektif dan pengukuran parameter fizikal untuk pengumpulan data. Parameter yang dipertimbangkan termasuklah suhu udara, min suhu sinaran, kelembapan relatif, halaju udara, undian sensasi terma (TSV), undian min ramalan (PMV), ramalan peratusan tidak berpuas hati (PPD), suhu operasi ( $T_o$ ) dan suhu operasi neutral ( $T_{neutop}$ ). Dengan menjalankan penilaian ini, kajian bertujuan untuk menentukan tahap keselesaan terma di kafeteria dan mengenal pasti mana-mana kawasan yang memerlukan penambahbaikan untuk meningkatkan pengalaman keselesaan terma penghuni di dalam bangunan.

Skop kajian tertumpu kepada penilaian keselesaan terma terhadap iklim tropika di kafeteria, Kolej Kediaman Kampus Pagoh. Selain itu, kajian ini tertumpu kepada ruangan yang mempunyai pengudaraan semula jadi tanpa bantuan sistem mekanikal seperti penghawa dingin dalam mencapai keselesaan terma yang diperlukan. Tambahan pula, kajian ini melibatkan pengagihan soal selidik tentang keselesaan terma di kafeteria kolej kediaman dari segi tahap sensasi terma dan tahap kepuasan terma penghuni semasa mereka menggunakan kafeteria tersebut. Sasaran penghuni untuk soal selidik adalah penghuni yang berada di kafeteria semasa kajian dilaksanakan.

## **2. Metodologi**

Kajian penilaian keselesaan terma ini dijalankan di kafeteria Kolej Kediaman Kampus Pagoh. Ia bertempat di Universiti Tun Hussien Onn Malaysia (UTHM), Kampus Cawangan Pagoh, Johor seperti dalam Rajah 2. Keluasan lantai kafeteria dianggarkan dalam 400 meter persegi. Kafeteria Kolej Kediaman Pelajar ini dipilih sebagai lokasi kajian kerana kesesuaiannya untuk mendapatkan data berdasarkan keadaan cuaca yang sentiasa panas di Pagoh dan juga populasi penduduk yang tinggi di lokasi tersebut. Selain itu, bangunan kafeteria kolej kediaman pelajar ini menggunakan sistem pengudaraan semulajadi sepenuhnya yang terdiri daripada bukaan daripada dua belas buah tingkap dan enam buah pintu serta bantuan enam belas buah kipas siling. Kajian ini dijalankan untuk menentukan tahap keselesaan terma berdasarkan persepsi setiap pelajar melalui borang soal selidik dan menilai variasi parameter keselesaan terma melalui pengukuran kajian lapangan.



Raj. 2. Kafeteria Kolej Kediaman Kampus Pagoh

### 2.1 Pengukuran Subjektif (Soal Selidik)

Kajian ini menggunakan soal selidik persekitaran terma ASHRAE *Standard* 55-2017 dengan beberapa pengubahsuaian mengikut keadaan reka bentuk kafeteria dan tingkah laku penghuni. Soal selidik direka bagi menentukan persepsi subjektif responden mengenai persekitaran terma dalaman. Kandungan utama soal selidik termasuklah latar belakang, indeks sensasi terma, indeks kepuasan terma dan persepsi suhu responden.

### 2.2 Pengukuran Fizikal

Fokus utama kajian ini adalah untuk mengkaji julat suhu keselesaan terma untuk ruang dalaman kafeteria Kolej Kediaman Kampus Pagoh. Empat parameter diukur serentak bersama dengan soal selidik, termasuklah suhu udara, min suhu sinaran, halaju udara dan kelembapan relatif. Merujuk kepada ASHRAE *Standard* 55-2017, alat pengukuran ditempatkan di tengah-tengah ruangan di lokasi di mana penghuni menghabiskan masa mereka pada ketinggian 1.1 meter dari aras lantai untuk penghuni yang sedang duduk [3].

### 2.3 Kaedah untuk Analisis

Data dikumpul selama dua hari untuk satu ruang terbuka dalaman pada 24 dan 25 November 2022. Pengukuran telah dijalankan pada kedudukan penghuni ketika duduk iaitu pada ketinggian 1.1 meter dari aras lantai seperti yang dinyatakan dalam ASHRAE *Standard* 55-2017. Pengumpulan data dijalankan pada waktu pagi (8 pagi hingga 10 pagi), tengah hari (12 tengah hari hingga 2 petang), petang (4 petang hingga 6 petang) dan malam (8 malam hingga 10 malam) bagi jumlah purata data untuk dua hari di ruang terbuka dalaman kafeteria. Data yang dikumpul termasuk suhu udara, kelembapan relatif, halaju udara dan min suhu sinaran. Data daripada cerapan pengukuran subjektif dan pengukuran fizikal kemudiannya dianalisis dengan menggunakan kaedah variasi parameter, undian sensasi terma (TSV), undian min ramalan (PMV), peratusan ramalan yang tidak berpuas hati (PPD), suhu operatif ( $T_o$ ), dan suhu operatif neutral ( $T_{neutop}$ ). Seterusnya, dengan menggunakan

perisian 'CBE Thermal Comfort Tool', nilai PMV dan PPD ditafsir dengan menggunakan kaedah PMV dan julat suhu operasi yang boleh diterima ditafsir dengan menggunakan kaedah mudah suai. Selain daripada itu, data juga dianalisis secara regresi linear. Analisis regresi membantu meramalkan nilai PMV untuk suhu udara, kelembapan relatif dan halaju udara yang berbeza. PMV dianggarkan berdasarkan enam parameter yang diukur melalui pengukuran fizikal iaitu suhu udara, min suhu sinaran, halaju udara, kelembapan relatif, kadar metabolisme dan nilai pakaian. Kadar metabolik penghuni ditetapkan pada 1.2 met dan nilai pakaian ialah 0.8 clo kerana aktiviti penghuni yang santai di dalam kafeteria dan mempunyai pennebat terma yang selesa.

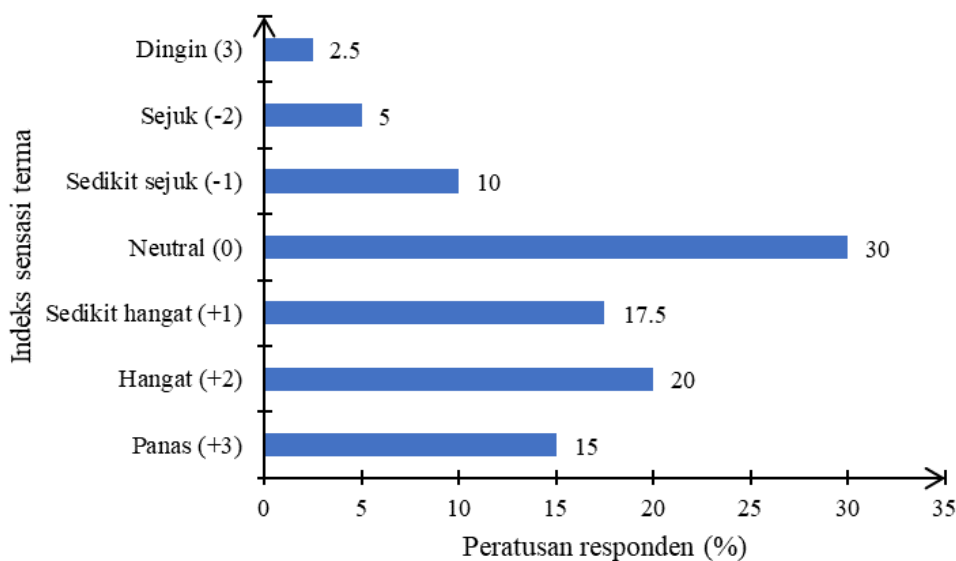
### 3. Keputusan dan Perbincangan

#### 3.1 Pengukuran Subjektif (Soal Selidik)

Data keselesaan terma subjektif direkod dengan menggunakan soal selidik yang diadaptasikan daripada ASHRAE Standard 55-2017 [3], dengan beberapa pengubahsuaian untuk disesuaikan dengan matlamat penyelidikan ini. Soal selidik telah diedarkan kepada penghuni pada 24 dan 25 November 2022 dan tempoh pengumpulan data adalah selama dua hari. Terdapat 40 responden di kawasan ruang terbuka dalaman sepanjang dua hari pengumpulan data. Pencerapan data bagi undian persepsi sensasi terma responden dan pengukuran fizikal keselesaan terma telah dijalankan secara serentak untuk sesi pagi, tengah hari, petang dan malam. Oleh itu, penghuni diarahkan untuk menjawab soal selidik semasa mereka masih berada di ruang terbuka dalaman kafeteria dan mengesahkan undian persepsi sensasi terma mereka.

##### 3.1.1 Sensasi terma

Rajah 3 menunjukkan undian sensasi terma responden di kafeteria. Majoriti daripada mereka mengundi sensasi terma neutral ketika berada di dalam kafeteria iaitu seramai 30%. Manakala, 52.5% responden memilih undian ke arah sensasi panas (sedikit hangat, hangat dan panas). Sensasi terma ke arah dingin (sedikit sejuk, sejuk dan dingin) pula diundi oleh 17.5% responden. Ini menunjukkan kebanyakan responden merasai sensasi terma ke arah panas dimana ianya menunjukkan ketidakselesaan mereka terhadap ruang yang panas.

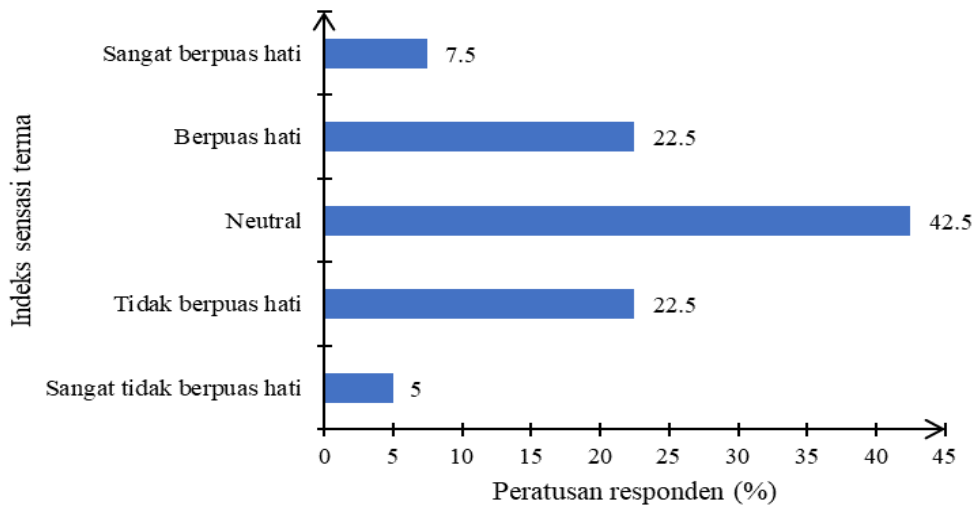


Raj. 3. Sensasi terma responden



### 3.1.2 Kepuasan terma

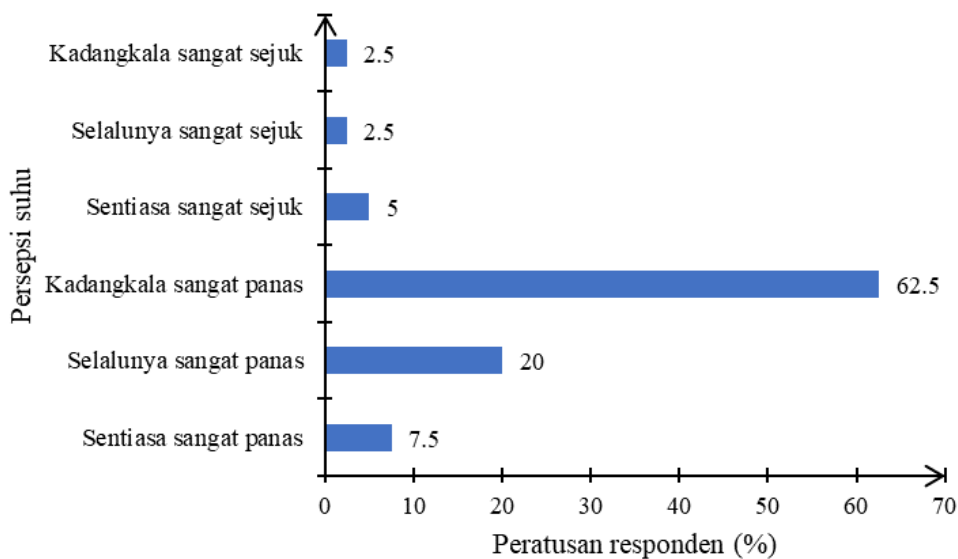
Rajah 4 menunjukkan undian kepuasan terma responden di kafeteria. Majoriti memilih kepuasan neutral sebagai undian mereka iaitu terdiri daripada 42.5% responden. Manakala, minoriti yang mengundi sangat tidak berpuas hati dan sangat berpuas hati adalah hampir sama iaitu 5% dan 7.5%. Manakala, responden yang berasa tidak berpuas hati dan berpuas hati adalah sama iaitu 22.5%.



Raj. 4. Kepuasan terma responden

### 3.1.3 Persepsi suhu

Rajah 5 menunjukkan persepsi suhu responden di kafeteria. Majoriti (62.5%) menyatakan mereka 'kadang-kala berasa sangat panas' ketika berada di dalam kafeteria. Selain itu, 20% responden juga mengundi 'selalunya sangat panas'. Ini menunjukkan ruang kafeteria kerap memberi persepsi panas pada penghuni. Manakala, minoriti (2.5%) mengundi 'selalunya sangat sejuk' dan kadang-kala sangat sejuk' adalah sama.



Raj. 5. Persepsi suhu di ruangan responden berdasarkan iklim cuaca

### 3.2 Pengukuran Fizikal

Parameter berikut telah diukur di ruang terbuka dalaman kafeteria Kolej Kediaman Kampus Pagoh: suhu udara, halaju udara, kelembapan relatif dan min suhu sinaran. Pengukuran dibuat di satu lokasi di dalam ruang terbuka dalaman.

#### 3.2.1 Parameter keselesaan terma

Tinjauan soal selidik telah dijalankan pada masa yang sama dengan pengukuran parameter persekitaran terma, yang termasuk suhu udara, min suhu sinaran, halaju udara dan kelembapan relatif. Instrumen yang digunakan dalam pengukuran fizikal ialah peralatan keselesaan terma. Satu titik cerapan telah dipilih dalam kerja mengukur parameter keselesaan terma. Purata suhu luar pada hari bekerja ialah 27.9 °C dan pada hari minggu ialah 27.6 °C. Jadual 2 meringkaskan hasil pengukuran persekitaran terma di titik cerapan bagi empat sesi untuk tempoh dua jam bagi setiap satu sesi iaitu pagi, tengah hari, petang dan malam di kafeteria tersebut.

**Jadual 1**

Ringkasan hasil pengukuran persekitaran terma mengikut 4 sesi persampelan

Hari	Suhu Luaran (°C)	Tempoh Masa	Suhu Udara (°C)	Min Suhu Sinaran (°C)	Halaju Udara (m/s)	Kelembapan Relatif (%)
Hari Bekerja	27.9	8 am – 10 am	28.4	28.8	0.03	78
		12 pm – 2 pm	31.3	31.6	0.10	67
		4 pm – 6 pm	32.7	33.0	0.07	58
		8 pm – 10 pm	30.9	31.1	0.10	70
Hari Minggu	27.6	8 am – 10 am	26.9	27.6	0.07	81
		12 pm – 2 pm	30.3	30.6	0.03	71
		4 pm – 6 pm	31.2	31.7	0.07	67
		8 pm – 10 pm	30.2	30.5	0.10	75

#### 3.2.2 Undian sensasi terma (TSV)

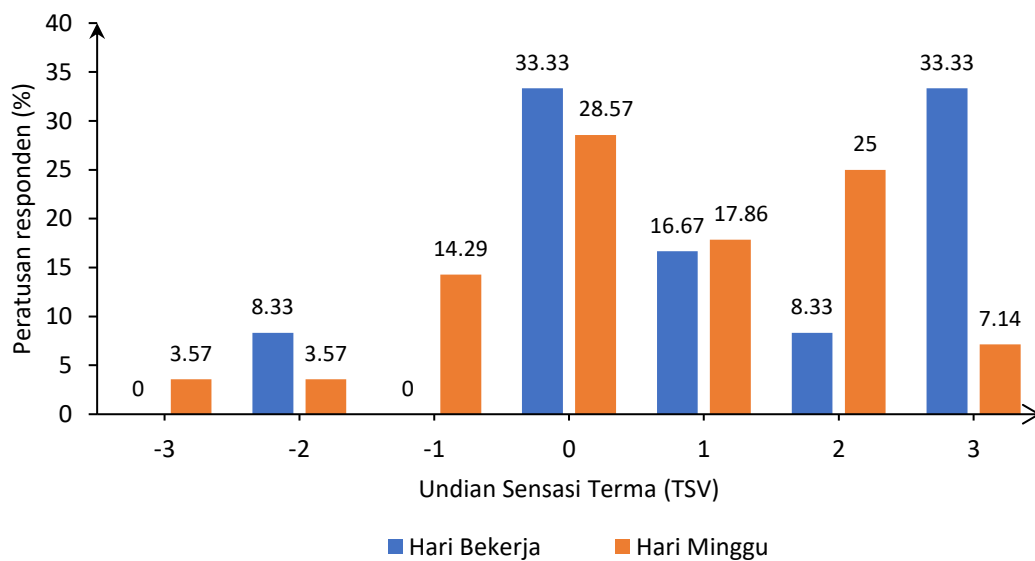
Kajian ini menggunakan kaedah skala undian sensasi terma (TSV) ASHRAE *Standard* 55-2017 sebagai indeks keselesaan terma. TSV mewakili sensasi terma manusia dan mempunyai 7 tahap iaitu dingin (+3), sejuk (+2), sedikit sejuk (+1), neutral (0), sedikit hangat (-1), hangat (-2) dan panas (-3). Indeks ini biasa digunakan sebagai indeks sensasi terma manusia. Kaedah ini dapat mengganggu TSV penghuni berdasarkan data fisiologi dan taburan suhu. Jadual 3 menunjukkan profil TSV berdasarkan kepada skala ASHRAE *Standard* 55-2017 bagi semua sesi pada kedua-dua hari iaitu hari bekerja dan hari minggu.

Seperti yang dibentangkan dalam jadual, dalam semua sesi terma, nilai PMV adalah lebih tinggi daripada purata TSV. Ini boleh disimpulkan bahawa penghuni di kafeteria telah menyesuaikan diri dengan baik dan terbiasa dengan cuaca panas dan lembap serta akan bertolak ansur dengan suhu yang lebih tinggi. Dapatan ini bersetuju dengan banyak kajian lain yang menekankan peranan penyesuaian kepada iklim pada penilaian keselesaan terma [25]. Peratusan kumulatif TSV dalam Rajah 6 menunjukkan kebanyakan penghuni mengundi neutral (0) dan panas (+3) pada hari bekerja dan neutral (0) pada hari minggu. Jika dilihat pada hari bekerja, nilai TSV lebih cenderung ke arah sensasi panas. Hal ini berbeza bagi hari minggu di mana taburan TSV adalah normal.

**Jadual 3**

Profil TSV bagi semua sesi pada kedua-dua hari

Hari	Sesi	TSV pada skala ASHRAE Standard 55							Min TSV	PMV
		Dingin -3	Sejuk -2	Sedikit sejuk -1	Neutral 0	Sedikit hangat +1	Hangat +2	Panas +3		
Hari Bekerja	Pagi	0	0	0	1	0	0	1	1.50	1.71
	Tengah Hari	0	1	0	3	0	0	2	0.67	2.27
	Petang	0	0	0	0	2	1	0	1.33	2.63
	Malam	0	0	0	0	0	0	1	3.00	1.77
Hari Minggu	Pagi	0	0	0	1	0	0	0	0.00	1.36
	Tengah Hari	1	0	1	4	3	4	1	0.71	2.13
	Petang	0	1	3	0	2	1	1	0.25	2.36
	Malam	0	0	0	3	0	2	0	0.80	2.06



**Raj. 6.** Peratusan kumulatif TSV

**3.2.3 Undian min ramalan (PMV) dan peratusan ramalan tidak berpuas hati (PPD)**

Daripada pengukuran persekitaran, nilai undian min ramalan (PMV) dan peratusan ramalan tidak berpuas hati (PPD) dianalisis dengan menggunakan perisian 'CBE Thermal Comfort Tool'. Hasil keputusan PMV ialah 2.0 dan PPD ialah 76%. Menurut ASHRAE Standard 55-2017, persekitaran terma yang boleh diterima untuk keselesaan umum dalam julat PMV adalah antara -0.5 hingga +0.5 dan PPD adalah kurang daripada 20%. Oleh itu, PMV dan PPD tidak mencapai ASHRAE Standard 55-2017. Data input ditunjukkan dalam Jadual 4.

Daripada tinjauan soal selidik, undian sensasi terma hendaklah digunakan dalam kes persekitaran untuk menentukan PMV dan PPD. Menurut Pourshaghagy dan Omidvari, indeks PPD berdasarkan soal selidik di mana-mana bahagian bangunan boleh dikira dengan menggunakan Persamaan 1 [26]. Bilangan soal selidik yang mempunyai ketidakselesaan ditunjukkan di dalam Jadual 5.

**Jadual 4**  
 Data input untuk nilai PMV dan PPD

Parameter	Data Purata
Suhu udara (°C)	30.3
Min Suhu Sinaran (°C)	30.6
Kelembapan Relatif (%)	66
Halaju Udara (m/s)	0.1
Kadar Metabolik (met)	1.2
Penebat Pakaian (clo)	0.8
PMV	2.0
PPD (%)	76

**Jadual 5**  
 Undian sensasi terma (TSV) melalui tinjauan soal selidik

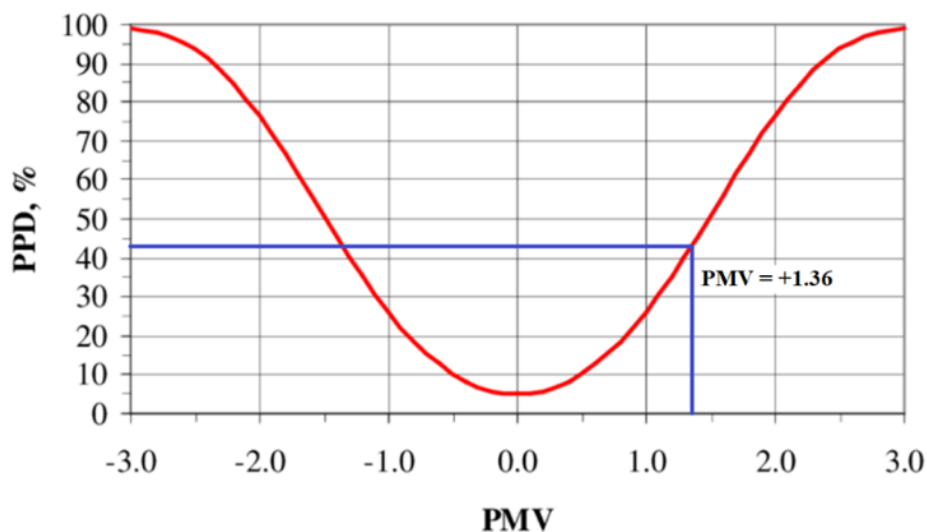
Dingin	Sejuk	Sedikit Sejuk	Neutral	Sedikit hangat	Hangat	Panas
1	2	4	12	7	8	6
Tidak berpuas hati = 3		Berpuas hati = 23			Tidak berpuas hati = 14	

$$PPD = \frac{\text{Bilangan soal selidik yang mempunyai ketidakselesaian di mana-mana bahagian}}{\text{Jumlah bilangan soal selidik}} \times 100 \quad (1)$$

$$PPD = \frac{14 + 3}{40} \times 100$$

$$PPD = 43\%$$

Berdasarkan pengiraan, 43% daripada penghuni tidak berpuas hati terhadap keadaan terma di kafeteria daripada tinjauan soal selidik. Oleh itu, berdasarkan graf korelasi PPD-PMV, nilai PMV yang didapati adalah 1.36 dan terletak di antara keadaan terma sedikit hangat (+1) dan hangat (+2) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7. Ia lebih tinggi daripada had atas iaitu 0.5 seperti yang disyorkan oleh ASHRAE Standard 55-2017.



**Raj. 1.** Graf Korelasi PPD melawan PMV

Nilai PMV dan PPD daripada pengukuran kerja lapangan ialah 2.0 dan 76%, manakala nilai daripada undian sensasi terma ialah 1.36 dan 43%. Boleh disimpulkan bahawa model PMV cenderung untuk mengklasifikasikan persekitaran terma sebagai lebih panas daripada sensasi terma sebenar penghuni.

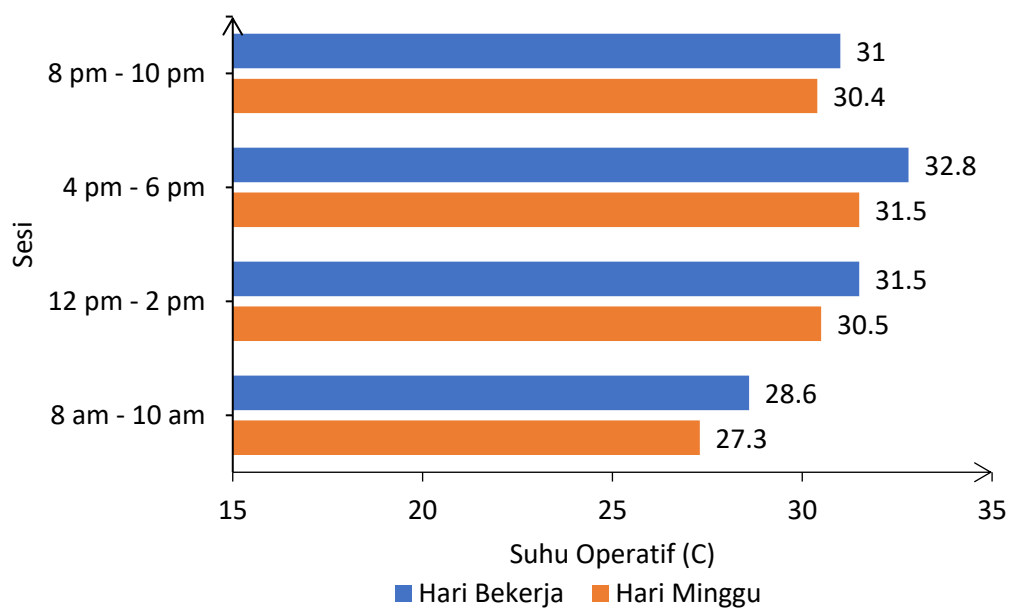
### 3.2.4 Suhu operatif ( $T_o$ ) dan suhu operatif neutral ( $T_{neutop}$ )

Data cerapan dalaman dan luaran yang diperoleh kemudiannya digunakan untuk meramal suhu operatif ( $T_o$ ) dan suhu operatif neutral ( $T_{neutop}$ ). Dalam kajian ini, regresi linear seperti dalam Persamaan 2 dipilih untuk pengiraan suhu operatif,  $T_o$  kerana ia digunakan secara meluas untuk ramalan suhu neutral berdasarkan ASHRAE Standard 55-2017. Menurut Persamaan 2, nilai A yang digunakan dalam pengiraan suhu operatif,  $T_o$  bagi semua sesi ialah 0.5 kerana purata kelajuan udara adalah  $< 0.2$  m/s iaitu antara 0.03 m/s hingga 0.1 m/s sahaja. Persamaan 3 digunakan dalam mengira suhu operatif neutral,  $T_{neutop}$  [27].

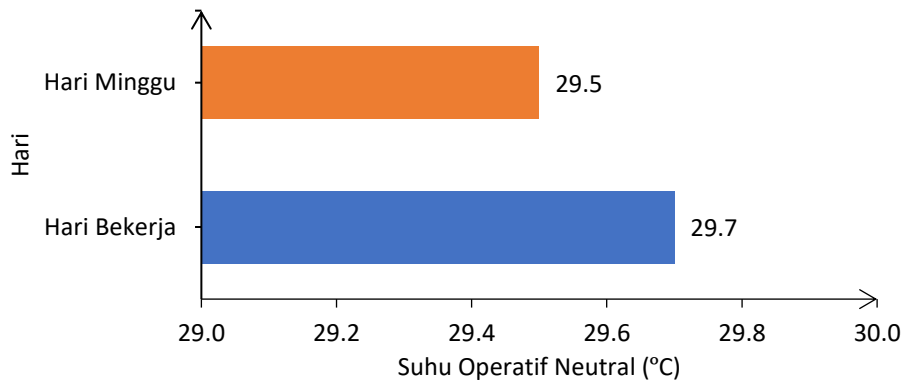
$$T_o = AT_a + (1-A)T_r \quad (2)$$

$$T_{neutop} = 0.57T_{outdm} + 13.8 \quad (3)$$

Suhu operatif ( $T_o$ ) dan suhu operatif neutral ( $T_{neutop}$ ) kafeteria ditunjukkan pada Rajah 8 dan Rajah 9. Purata kelajuan udara dalaman untuk hari bekerja dan hari minggu adalah dalam had yang ditetapkan iaitu  $< 0.65$  m/s, manakala purata suhu udara luaran untuk hari bekerja dan hari minggu juga adalah dalam had yang ditetapkan iaitu  $27.9$  °C dan  $27.6$  °C. Hasilnya, suhu operatif dalaman pada hari bekerja ialah di antara  $28.6$  °C hingga  $32.8$  °C, manakala suhu operatif neutral ialah  $29.7$  °C. Selain itu, pada hari minggu pula, suhu operatif dalaman ialah di antara  $27.3$  °C hingga  $31.5$  °C, manakala suhu operatif neutral ialah  $29.5$  °C.



Raj. 8. Suhu operatif ( $T_o$ ) kafeteria

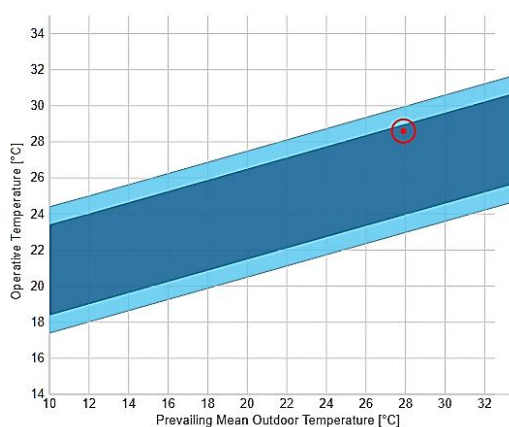


Raj. 9. Suhu operatif neutral ( $T_{neutop}$ ) kafeteria

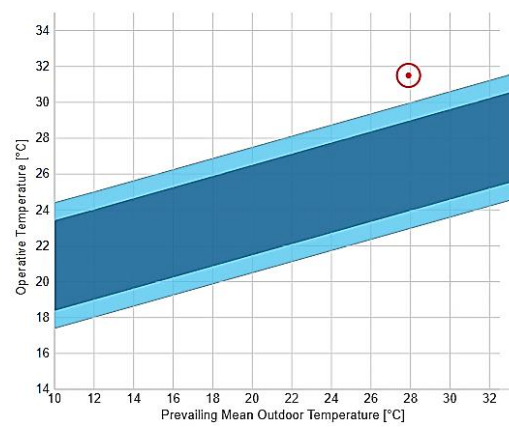
### 3.2.5 Carta mudah suai

Berdasarkan suhu operatif yang dikira dan purata suhu luaran yang diukur, kaedah mudah suai telah digunakan untuk menentukan keadaan tertentu suhu dalaman dan luaran yang berada di dalam zon selesa bagi setiap sesi menggunakan perisian 'CBE Thermal Comfort Tool'. Lokasi yang dipilih adalah menepati kriteria yang telah ditetapkan. Kafeteria kolej kediaman pelajar ini menggunakan sistem pengudaraan semula jadi sepenuhnya serta dibantu oleh sistem pengudaraan mekanikal iaitu kipas siling. Seterusnya, kadar metabolisme penghuni di kafeteria dianggarkan sebagai 1.2 met dan purata penebat pakaian dikira sebagai 0.8 clo [28,29].

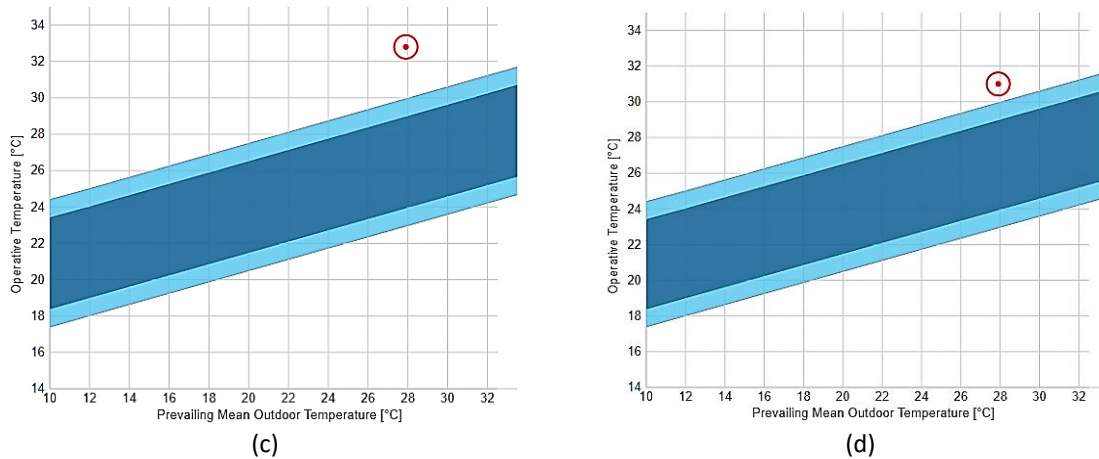
Dengan menggunakan kaedah mudah suai daripada perisian 'CBE Thermal Comfort Tool', carta mudah suai dibina seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 10 dan Rajah 11. Rajah tersebut menunjukkan julat suhu operasi yang disyorkan untuk ruang pengudaraan semula jadi berdasarkan ASHRAE Standard 55-2017 [3] bagi kedua-dua hari yang terlibat. Angka ini termasuk 80% dan 90% julat kebolehterimaan penghuni. Suhu operasi pada sesi pagi untuk kedua-dua hari sahaja yang mematuhi ASHRAE Standard 55-2017 [3] iaitu diantara 22.9 °C hingga 29.9 °C untuk had kebolehterimaan 80% dan 23.9 °C hingga 28.9 °C untuk had kebolehterimaan 90%. Suhu operasi ini ditafsirkan sebagai selesa. Bagi sesi tengah hari, petang dan malam pula, suhu operasi tidak mematuhi julat yang ditetapkan. Keadaan ini ditafsirkan sebagai terlalu hangat. Seterusnya, data ini kemudiannya diringkaskan seperti dalam Jadual 6.



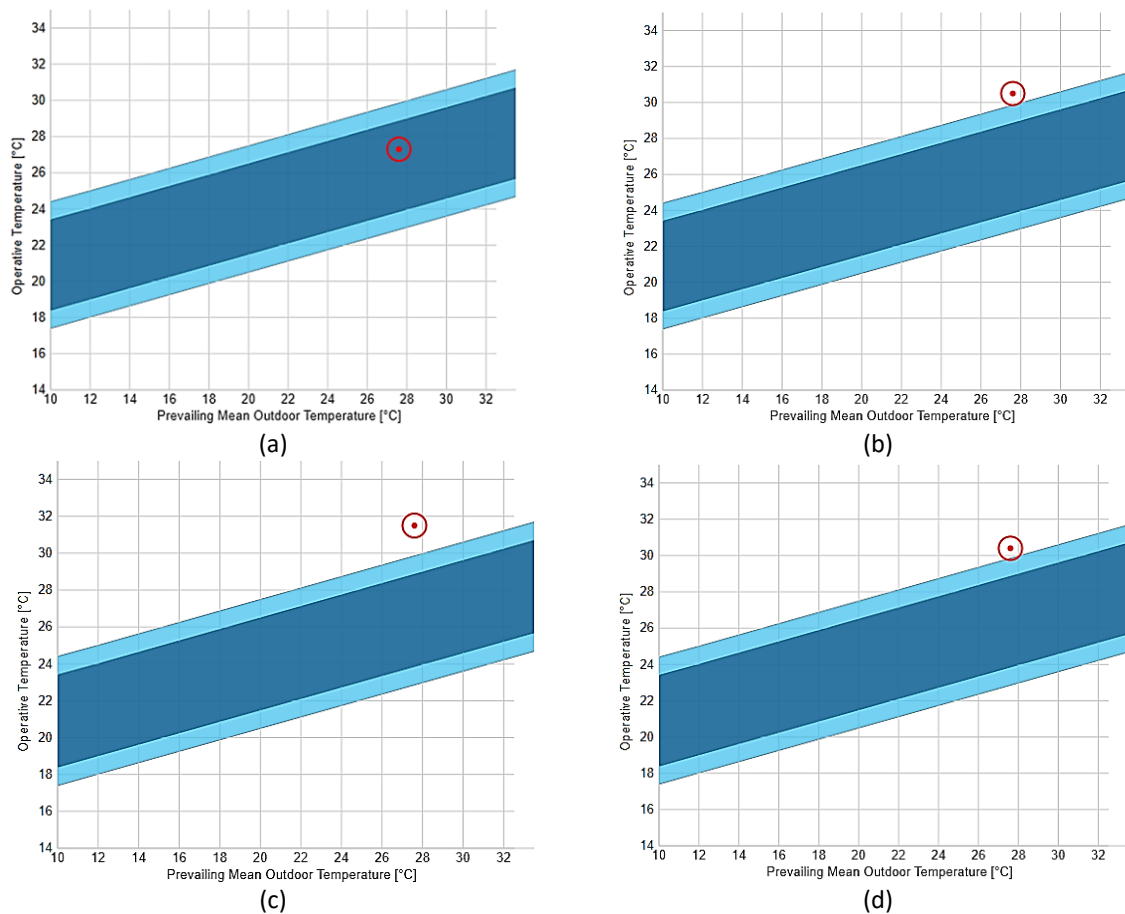
(a)



(b)



**Raj. 2.** Graf mudah suai bagi julat suhu operasi yang boleh diterima bagi ruang dengan pengudaraan semula jadi pada hari bekerja bagi sesi (a) pagi, (b) tengah hari, (c) petang dan (d) malam



**Raj. 11.** Graf mudah suai bagi julat suhu operasi yang boleh diterima bagi ruang dengan pengudaraan semula jadi pada hari minggu bagi sesi (a) pagi, (b) tengah hari, (c) petang dan (d) malam

**Jadual 2**

Ringkasan julat suhu operatif yang boleh diterima berdasarkan ASHRAE Standard 55-2017 [3]

Hari	Sesi	Suhu luaran (°C)	Suhu operatif (°C)	Keputusan
Hari Bekerja	Pagi	27.9	28.6	Selesa
	Tengah hari		31.5	Terlalu hangat
	Petang		32.8	Terlalu hangat
	Malam		31.0	Terlalu hangat
Hari Minggu	Pagi	27.6	27.3	Selesa
	Tengah hari		30.5	Terlalu hangat
	Petang		31.5	Terlalu hangat
	Malam		30.4	Terlalu hangat

### 3.2.6 Regresi linear

Analisis regresi membantu meramalkan nilai PMV untuk suhu udara, kelembapan relatif dan halaju udara yang berbeza. PMV meramalkan nilai min undi terma untuk sekumpulan besar orang yang terdedah kepada persekitaran yang sama tetapi undian individu adalah bertaburan di sekitar nilai min, dan adalah penting untuk dapat meramalkan bilangan orang yang mungkin berasa tidak selesa sama ada hangat atau sejuk.

Jadual 7, 8 dan 9 menunjukkan data analisis keputusan pekali analisis model regresi. Dalam kes model regresi halaju udara, kadar aliran udara meningkat apabila masa yang diambil berubah pada setiap sesi, seperti pagi, tengah hari, petang dan malam. Oleh itu purata suhu dan halaju udara adalah berkadar terus dengan bahagian di mana masa udara ambien atau udara sirkulasi semula jadi ditiup ke lokasi tertentu. Keputusan ANOVA dalam jadual mendedahkan bahawa model ramalan adalah signifikan secara statistik dengan nilai  $p < 0.05$  untuk semua model. Keputusan analisis keseluruhan, seperti kuasa penjelasan model bagi data dan nilai-p, menunjukkan bahawa hari bekerja adalah model optimum yang meramalkan kadar aliran udara lebih besar bagi halaju, suhu udara dan kelembapan relatif di kafeteria berbanding hari minggu [30].

**Jadual 7**

Data analisis ANOVA untuk suhu udara

Suhu Udara						
Hari		df	SS	MS	F	P
Hari Bekerja	Regresi	1	1.9951	1.9951	607.4475	$2.68321 \times 10^{-12}$
	Baki	13	0.0427	0.0033		
	Jumlah	14	2.0378			
Hari Minggu	Regresi	1	4.4245	4.4245	2986.9221	$9.4811 \times 10^{-17}$
	Baki	13	0.0193	0.0015		
	Jumlah	14	4.4437			

**Jadual 8**

Data analisis ANOVA untuk kelembapan relatif

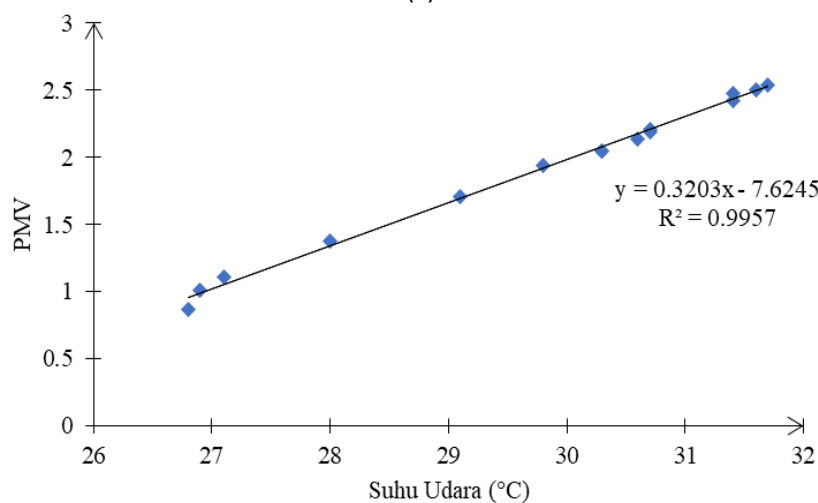
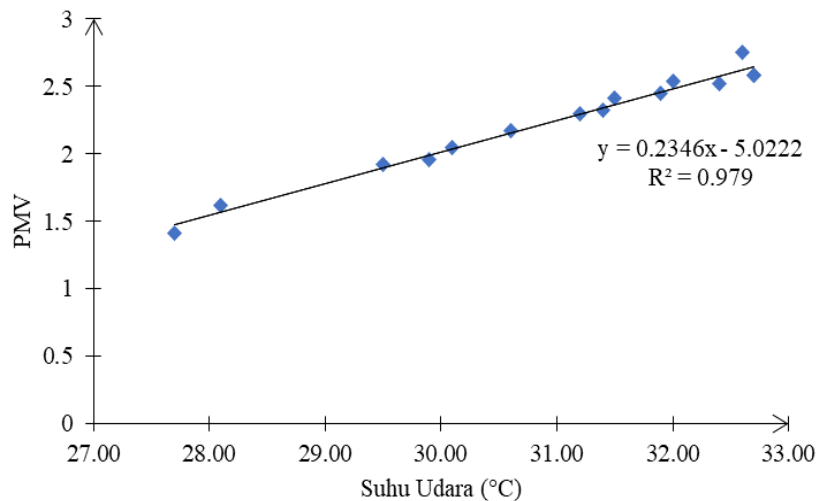
Kelembapan Relatif						
Hari		df	SS	MS	F	P
Hari Bekerja	Regresi	1	1.8531	1.8531	130.47392	$3.77 \times 10^{-08}$
	Baki	13	0.1846	0.0142		
	Jumlah	14	2.0378			
Hari Minggu	Regresi	1	3.9621	3.9621	106.9306	$1.22 \times 10^{-07}$
	Baki	13	0.4817	0.0371		
	Jumlah	14	4.4437			



**Jadual 9**  
 Data analisis ANOVA untuk halaju udara

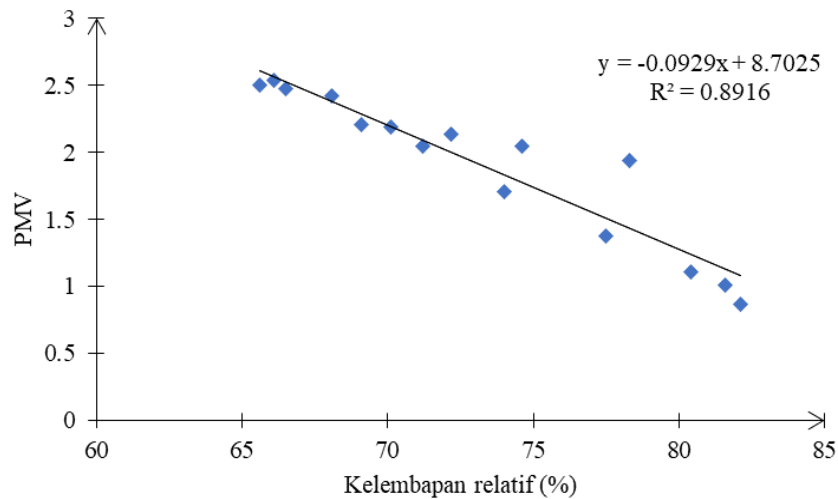
Halaju Udara		df	SS	MS	F	P
Hari Bekerja	Regresi	1	0.1480	0.1480	1.0182	0.3314
	Baki	13	1.8898	0.1454		
	Jumlah	14	2.0378			
Hari Minggu	Regresi	1	0.1068	0.1068	0.3201	0.5812
	Baki	13	4.3370	0.3336		
	Jumlah	14	4.4437			

Rajah 12(a) dan (b) menunjukkan perbandingan suhu udara dengan PMV pada hari bekerja dan hari minggu. Dengan menganalisis regresi linear antara suhu udara dan PMV untuk hari bekerja dalam Rajah 12(a) ianya menunjukkan hubungan yang kuat ( $R^2 = 0.979$ ). Regresi linear suhu udara dan PMV untuk hari minggu juga menunjukkan regresi yang kuat ( $R^2 = 0.9957$ ) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 12(b). Hal ini menunjukkan suhu udara dipengaruhi oleh nilai PMV bagi hari bekerja mahupun hari minggu. Hubungkait ini menunjukkan bahawa peningkatan dalam suhu udara akan meningkatkan ketidakselesaan yang akan meningkatkan nilai PMV juga.

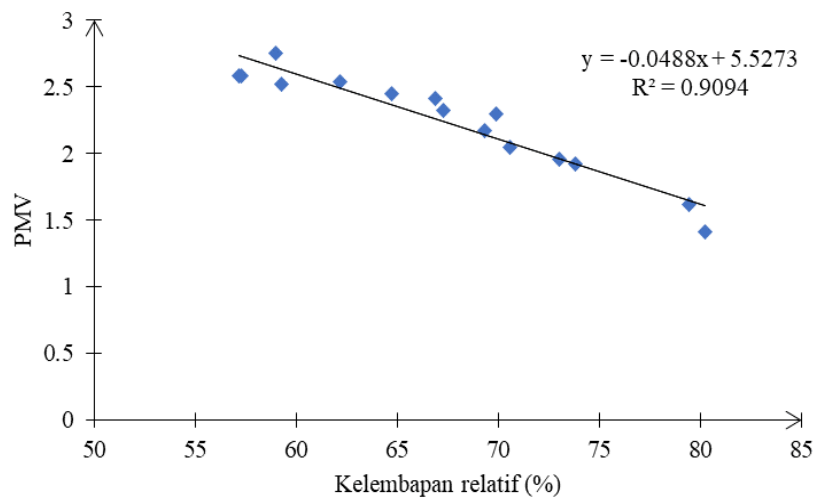


**Raj. 12.** Perbandingan suhu udara dengan PMV pada (a) hari bekerja dan (b) hari minggu

Rajah 13 menunjukkan hubungan antara kelembapan relatif dan PMV pada hari bekerja dan hari minggu. Hubungan yang kuat bagi dua parameter tersebut bagi cerapan pada hari bekerja (Rajah 13(a)) dengan ( $R^2 = 0.9094$ ) manakala dalam Rajah 13(b) menunjukkan regresi yang kuat ( $R^2 = 0.8916$ ) melalui analisis regresi linear suhu udara dan PMV pada hari minggu. Ini menunjukkan kadar kelembapan udara mempengaruhi nilai PMV.



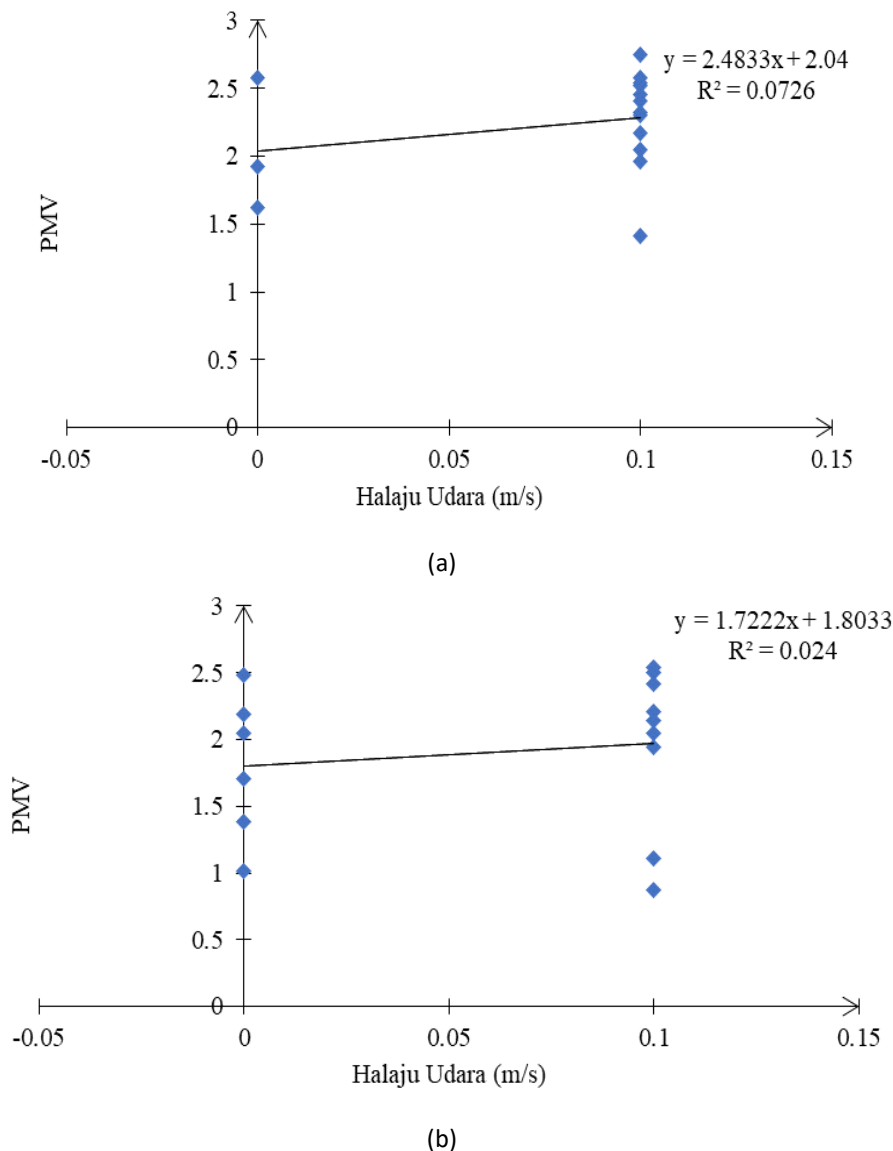
(a)



(b)

**Raj. 13.** Perbandingan kelembapan relatif dengan PMV pada (a) hari bekerja dan (b) hari minggu

Rajah 14(a) dan (b) menunjukkan perbandingan halaju udara dengan PMV pada hari bekerja dan hari minggu. Pada hari bekerja, analisis regresi linear antara halaju udara dan PMV menghasilkan hubungan yang sangat lemah bagi kedua-dua hari bekerja dan hari minggu dengan nilai ( $R^2 = 0.0726$ ) (Rajah 14(a)) dan  $R^2 = 0.024$  (Rajah 14(b)). Nilai  $R^2$  yang lemah ini menunjukkan bahawa kelajuan angin memberi kesan kecil yang tidak ketara pada PMV. Oleh itu, bolehlah disimpulkan bahawa, nilai PMV dipengaruhi oleh faktor suhu udara dan kelembapan relatif berdasarkan  $R^2$  yang menghampiri 1.



**Raj. 14.** Perbandingan halaju udara dengan PMV pada (a) hari bekerja dan (b) hari minggu

Jadual 10 menunjukkan bahawa nilai  $R^2$  di antara 1.0 hingga 0.8 boleh ditafsirkan mempunyai hubungan yang kuat. Nilai ini adalah signifikan terhadap nilai PMV manakala, nilai  $R^2$  yang kurang daripada 0.7 menunjukkan hubungan yang lemah dan tidak signifikan untuk mempengaruhi nilai PMV.

**Jadual 10**

Ringkasan nilai  $y$  dan  $R^2$  berdasarkan graf perbandingan

	Hari Biasa	Hari Minggu	Hubungan
PMV vs suhu udara	$y = 0.2346x - 5.0222$ $R^2 = 0.979$	$y = 0.3203x - 7.6245$ $R^2 = 0.9957$	$1.0 > R^2 > 0.8 =$ hubungan yang kuat
PMV vs Kelembapan relatif	$y = -0.0488x + 5.5273$ $R^2 = 0.9094$	$y = -0.0929x + 8.7025$ $R^2 = 0.8916$	$1.0 > R^2 > 0.8 =$ hubungan yang kuat
PMV vs Halaju udara	$y = 2.4833x + 2.04$ $R^2 = 0.0726$	$y = 1.7222x + 1.8033$ $R^2 = 0.024$	$R^2 < 0.7 =$ hubungan yang lemah

### 3.2.7 Penilaian keseluruhan keselesaan terma

Jadual 11 menunjukkan perbandingan nilai parameter suhu operatif, TSV, PMV dan PPD secara keseluruhan dalam tempoh dua hari bagi sesi pagi, tengah hari, petang dan malam. Analisis keseluruhan secara amnya mengandungi empat parameter persekitaran iaitu suhu udara, min suhu sinaran, halaju udara, dan kelembapan relatif. Selain itu, suhu operatif dikira bagi menentukan julat suhu yang dibenarkan bagi persekitaran di mana sistem mekanikal beroperasi. Nilai TSV, PMV dan PPD diambil kira bagi mengenalpasti tahap keselesaan penghuni daripada indeks sensasi terma. Nilai keseluruhan diringkaskan dalam jadual di bawah. Dapatan kajian menunjukkan hari bekerja lebih panas berbanding hari minggu berdasarkan faktor suhu udara. Ini menyebabkan nilai PMV yang lebih tinggi berbanding hari minggu [31].

**Jadual 11**

Keseluruhan perbandingan nilai parameter, suhu operatif, TSV, PMV dan PPD dalam tempoh dua hari pada sesi pagi, tengah hari, petang dan malam

Hari	Sesi	Suhu Udara (°C)	Min Suhu Sinaran (°C)	Halaju Udara (m/s)	Kelembapan Relatif (%)	Suhu Operatif (°C)	TSV	PMV	PPD (%)
Hari Bekerja	Pagi	28.4	28.8	0.03	78	28.6	1.50	1.71	62
	Tengah hari	31.3	31.6	0.10	67	31.5	0.67	2.27	87
	Petang	32.7	33.0	0.07	58	32.8	1.33	2.63	96
	Malam	30.9	31.1	0.10	70	31.0	3.00	1.77	65
<b>Purata</b>		<b>30.8</b>	<b>31.1</b>	<b>0.08</b>	<b>68</b>	<b>31.0</b>	<b>1.63</b>	<b>2.10</b>	<b>78</b>
Min		28.4	28.8	0.03	58	28.6	0.67	1.71	62
Mak		32.7	33.0	0.10	78	32.8	3.00	2.63	96
Hari Minggu	Pagi	26.9	27.6	0.07	81	27.3	0.00	1.36	43
	Tengah hari	30.3	30.6	0.03	71	30.5	0.71	2.13	82
	Petang	31.2	31.7	0.07	67	31.5	0.25	2.36	90
	Malam	30.2	30.5	0.10	75	30.4	0.80	2.06	79
<b>Purata</b>		<b>29.7</b>	<b>30.1</b>	<b>0.07</b>	<b>74</b>	<b>29.9</b>	<b>0.44</b>	<b>1.98</b>	<b>74</b>
Min		26.9	27.6	0.03	67	27.3	0.00	1.36	43
Mak		31.2	31.7	0.10	81	31.5	0.80	2.36	90

### 3.2.8 Perbandingan data dengan piawaian

Jadual 12 menunjukkan perbandingan pengumpulan data dengan piawaian. Cerapan suhu udara di kafeteria adalah 30.3 °C, manakala kelembapan relatif adalah 71%. Berdasarkan kepada piawaian ASHRAE Standard-55, suhu udara dan kelembapan relatif berada di luar julat yang diterima. Selain itu, halaju udara cerapan pula ialah 0.1 m/s dan berada dalam had yang disyorkan. Di samping itu, purata suhu operatif dalaman yang diperolehi dalam kajian ini untuk hari bekerja (28.6 °C hingga 32.8 °C) adalah sedikit melebihi had maksimum yang disyorkan oleh ASHRAE Standard 55-2017 iaitu sebanyak 4.6 °C hingga 3.8 °C, manakala bagi hari minggu (27.3 °C hingga 31.5 °C) juga melebihi had maksimum iaitu sebanyak 3.3 °C hingga 2.5 °C. Daripada pengukuran persekitaran, PMV dan PPD untuk kafeteria dianalisis dengan menggunakan perisian 'CBE Thermal Comfort Tool'. Didapati nilai PMV ialah 2.0 dan PPD ialah 76% manakala nilai PMV dan PPD yang diperolehi daripada kajian soal selidik ialah 1.36 dan 43% masing-masing. Nilai PMV dan PPD di kafeteria ini tidak mencapai kriteria yang telah disyorkan oleh ASHRAE Standard 55-2017 dan dianggap sebagai tidak selesa.

### Jadual 3

Perbandingan julat keselesaan dan kriteria keselesaan yang disyorkan oleh ASHRAE *Standard* 55-2017

Parameter	Data pengukuran persekitaran	Data soal selidik	ASHRAE Standard 55-2017
Suhu Udara (°C)	30.3	NA	23 - 26
Kelembapan Relatif (%)	71	NA	20 - 60
Halaju Udara (m/s)	0.1	NA	< 0.15
Suhu Operatif	Hari bekerja: 28.6 °C – 32.8 °C Hari minggu: 27.3 °C – 31.5 °C	NA	24.0 °C – 29.0 °C
PMV	2.0	1.36	-0.5 hingga +0.5
PPD	76	43	< 20%

## 4. Kesimpulan

Analisis keselesaan terma yang komprehensif di ruang dalaman kafeteria Kolej Kediaman Kampus Pagoh telah dilaksanakan untuk menilai julat suhu keselesaan terma. Hasil kajian menunjukkan bahawa majoriti responden mengundi sensasi panas di kafeteria tersebut. Berdasarkan analisis data pengukuran, purata semua parameter yang diukur kecuali halaju udara, tidak berada dalam julat yang diterima untuk mencapai keselesaan terma yang memuaskan. Justeru itu, sensasi keselesaan terma di kafeteria tersebut boleh ditafsirkan sebagai tidak selesa. Hal ini disebabkan oleh nilai-nilai yang diperoleh yang tidak memenuhi piawaian yang telah ditetapkan. Oleh itu, langkah-langkah penambahbaikan diperlukan bagi meningkatkan keselesaan terma di kafeteria tersebut agar dapat memenuhi piawaian yang telah ditetapkan.

Salah satu cadangan yang boleh dipertimbangkan bagi meningkatkan keselesaan terma di kafeteria tersebut adalah melalui penambahbaikan sistem dan reka bentuk. Dengan meningkatkan jumlah sistem pengudaraan mekanikal di kafeteria, penghuni dijangka dapat menikmati keselesaan terma yang lebih baik. Penambahan kipas atau sistem penyaman udara yang efisien dapat membantu menurunkan suhu udara di dalam kafeteria. Selain itu, pemasangan sistem penyejukan dalaman seperti penggunaan penyejuk udara atau sistem penghawa dingin dapat membantu menurunkan suhu udara dan mencipta lingkungan yang lebih selesa bagi penghuni. Dinding dengan ketebalan dan penebatan yang baik dapat membantu mengawal suhu dalam kafeteria agar tetap stabil. Ini akan membantu mengurangkan haba panas yang masuk dan keluar dari bangunan, sehingga mampu menciptakan lingkungan yang lebih sejuk dan nyaman. Seterusnya, mengoptimalkan pengudaraan semula jadi dengan menggunakan ventilasi silang, jendela yang dapat dibuka, atau sistem ventilasi yang baik dapat membantu mengurangkan haba dan meningkatkan sirkulasi udara di dalam kafeteria.

Kajian ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang persepsi penghuni berkaitan keselesaan terma di kafeteria. Dengan mengumpulkan data melalui pengukuran subjektif, kajian ini berjaya menggambarkan bagaimana penghuni mengalami keselesaan terma dalam persekitaran kafeteria tersebut. Selain itu, kajian ini menilai variasi parameter keselesaan terma seperti indeks undian sensasi terma (TSV), indeks undian min ramalan (PMV), dan peratusan ramalan tidak berpuas hati (PPD). Dengan melibatkan pengukuran fizikal, kajian ini memberikan gambaran tentang keadaan keselesaan terma di kafeteria dan sejauh mana parameter-parameter ini mempengaruhi pengalaman keselesaan terma penghuni. Sumbangan kajian ini terhadap pengetahuan tentang persepsi penghuni, penilaian parameter keselesaan terma, penilaian persekitaran fizikal, dan pematuhan terhadap piawaian keselesaan terma. Penelitian ini memberikan kefahaman yang signifikan bagi meningkatkan keselesaan terma di kafeteria Kolej Kediaman Kampus Pagoh dan merumuskan langkah-langkah penambahbaikan yang diperlukan.

## Penghargaan

Penyelidik ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada semua rakan kerjasama penyelidikan dari Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Universiti Kebangsaan Malaysia, Safat College of Science & Technology dan International University of Africa yang banyak memberikan pandangan dan kepakaran dalam membantu penyelidikan ini.

## Rujukan

- [1] Zamri, Ernisuhani Mohamad, Asmat Ismail, and Azizah Md Ajis. "Thermal comfort in naturally ventilated classroom: A literature review." *International Journal of Property Sciences (E-ISSN: 2229-8568)* 9, no. 1 (2019): 27-37. <https://doi.org/10.22452/ijps.vol9no1.3>
- [2] Allah, Mohammad Zarea, Azian Hariri, and Haslinda Mohamed Kamar. "Comparison of Thermal Comfort Condition of Naturally Ventilated Courtyard, Semi-Outdoor and Indoor Air-Conditioned Spaces in Tropical Climate." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 101, no. 1 (2023): 45-58. <https://doi.org/10.37934/arfmts.101.1.4558>
- [3] ASHRAE, ANSI. "Standard 55-2016. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers." (2017).
- [4] Yao, Chong Zi, Mohamad Nor Azhari Nor Azli, Azian Hariri, Amir Abdullah Muhamad Damanhuri, and Mohd Syafiq Syazwan Mustafa. "Preliminary Study on Student's Performance and Thermal Comfort in Classroom." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 101, no. 1 (2023): 59-72. <https://doi.org/10.37934/arfmts.101.1.5972>
- [5] ISO 7730; Ergonomics of the Thermal Environment—Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2005. <https://doi.org/10.3403/30046382>
- [6] Brager, Gail S., and Richard J. De Dear. "Thermal adaptation in the built environment: a literature review." *Energy and buildings* 27, no. 1 (1998): 83-96. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(97)00053-4)
- [7] Mustapha, Tajudeen Dele, Ahmad Sanusi Hassan, Muhammad Hafeez Abdul Nasir, and Hilary Omatule Onubi. "An Investigation of Thermal Comfort in Classrooms in the Tropical Savanna Climate." *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology* 29, no. 1 (2022): 62-75. <https://doi.org/10.37934/araset.29.1.6275>
- [8] Kumar, Sanjay, Manoj Kumar Singh, Nedhal Al-Tamimi, Badr S. Alotaibi, and Mohammed Awad Abuhussain. "Investigation on Subjects' Seasonal Perception and Adaptive Actions in Naturally Ventilated Hostel Dormitories in the Composite Climate Zone of India." *Sustainability* 14, no. 9 (2022): 4997. <https://doi.org/10.3390/su14094997>
- [9] Torriani, Giulia, Giulia Lamberti, Fabio Fantozzi, and Francesco Babich. "Exploring the impact of perceived control on thermal comfort and indoor air quality perception in schools." *Journal of Building Engineering* 63 (2023): 105419. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105419>
- [10] Luo, Maohui, Richard de Dear, Wenjie Ji, Cao Bin, Borong Lin, Qin Ouyang, and Yingxin Zhu. "The dynamics of thermal comfort expectations: The problem, challenge and implication." *Building and Environment* 95 (2016): 322-329. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.07.015>
- [11] Al-Absi, Zeyad Amin, Mohd Isa Mohd Hafizal, Noor Faisal Abas, and Faizal Baharum. "A Comparison in Perception of Local and Foreign Residents to Thermal Comfort in Naturally Conditioned Residential Buildings." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 100, no. 3 (2022): 78-91. <https://doi.org/10.37934/arfmts.100.3.7891>
- [12] Longo, Tiago Arent, Ana Paula Melo, and Enedir Ghisi. "Thermal comfort analysis of a naturally ventilated building." *In Proceedings of Building Simulation 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney*, pp. 2004-2010. 2011.
- [13] Rahman, Noor Muhammad Abd, Lim Chin Haw, and Ahmad Fazlizan. "A literature review of naturally ventilated public hospital wards in tropical climate countries for thermal comfort and energy saving improvements." *Energies* 14, no. 2 (2021): 435. <https://doi.org/10.3390/en14020435>
- [14] Daghigh, Roonak, and Kamaruzzaman Sopian. "Effective ventilation parameters and thermal comfort study of air-conditioned offices." *American Journal of Applied Sciences* 6, no. 5 (2009): 943. <https://doi.org/10.3844/ajas.2009.943.951>
- [15] McCartney, K. J., and M. A. Humphreys. "Thermal comfort and productivity." *Proceedings of Indoor Air 2002* (2002): 822-827.
- [16] Shafii, Haryati. "Keselesaan terma rumah kediaman dan pengaruhnya terhadap kualiti hidup penduduk (Thermal comfort of house and it's influence on people's quality of life)." *Geografia* 8, no. 4 (2012).

- [17] Zulkifli, H. "Reka bentuk bangunan dalam iklim panas dan lembab di Malaysia." *Dewan Bahasa Dan Pustaka, Kuala Lumpur*, ISBN 10 (1999): 983625949X.
- [18] Fanger, P. O. "Thermal Comfort. New York: McGraw-HillGoldman RF (1978) Prediction of human heat tolerance." (1970). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-261350-0.50008-9>
- [19] Ameen, Arman, Alireza Bahrami, and Ibai Elosua Ansa. "Assessment of Thermal Comfort and Indoor Air Quality in Library Group Study Rooms." *Buildings* 13, no. 5 (2023): 1145. <https://doi.org/10.3390/buildings13051145>
- [20] Shi, Zhiqiang, Qianni Liu, Zhongjun Zhang, and Tianhao Yue. "Thermal Comfort in the Design Classroom for Architecture in the Cold Area of China." *Sustainability* 14, no. 14 (2022): 8307. <https://doi.org/10.3390/su14148307>
- [21] Riffelli, Stefano. "Global Comfort Indices in Indoor Environments: A Survey." *Sustainability* 13, no. 22 (2021): 12784. <https://doi.org/10.3390/su132212784>
- [22] Munonye, Charles, Michael Ngobili, Chukwunonso Umeora, Ifebi Oluchi, Nkechi Maduka, and Chijioke Onwuzuligbo. "Comparative Analysis of Comfort Temperature of School Children and Their Teachers." *Research & Development* 4, no. 1 (2023): 27-39. <https://doi.org/10.11648/j.rd.20230401.15>
- [23] Trost, J. *Heating, ventilating, and air conditioning*. Vol. 2. Pearson College Division, 1998. <https://doi.org/10.4095/311236>
- [24] Ebrahim, Hozefa, and David Ashton-Cleary, eds. *Maths, Physics and Clinical Measurement for Anaesthesia and Intensive Care*. Cambridge University Press, 2019. <https://doi.org/10.1017/9781108758505>
- [25] Azizpour, F., S. Moghimi, C. H. Lim, S. Mat, E. Salleh, and K. Sopian. "A thermal comfort investigation of a facility department of a hospital in hot-humid climate: Correlation between objective and subjective measurements." *Indoor and Built Environment* 22, no. 5 (2013): 836-845. <https://doi.org/10.1177/1420326x12460067>
- [26] Pourshaghaghay, A., and M. Omidvari. "Examination of thermal comfort in a hospital using PMV-PPD model." *Applied ergonomics* 43, no. 6 (2012): 1089-1095. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.03.010>
- [27] Razak, Bismiazan Abd, Farid Mohamed, Wardah Fatimah Mohammad Yusoff, and Khairul Azhar Mat Sulaiman. "Thermal Comfort Performance of Naturally Ventilated Royal Malaysian Police (RMP) Lockup in Hot and Humid Climate of Malaysia." *Pertanika Journal of Science & Technology* 29, no. 3 (2021). <https://doi.org/10.47836/pjst.29.3.35>
- [28] Azli, Mohamad Nor Azhari Nor, Muhammad Aidil Khasri, Azian Hariri, Chong Zi Yao, Amir Abdullah Muhamad Damanhuri, and Mohd Syafiq Syazwan Mustafa. "Pilot Study on Investigation of Thermal Sensation Votes (TSV) and Students' Performance in Naturally Ventilated Classroom." *Environment and Ecology Research* 10 (2022): 508-517. <https://doi.org/10.13189/eer.2022.100409>
- [29] Musa, M. K., C. M. Ting, M. A. A. Rahman, M. Awang, Nuramidah Hamidon, M. M. Syafiq Syazwan, Fatimah Yusop, and Faridahanim Ahmad. "Thermal Comfort Evaluation at the Multipurpose Hall of an Academic Campus." In *Proceedings of the 3rd International Conference on Separation Technology: Sustainable Design in Construction, Materials and Processes*, pp. 141-161. Springer Singapore, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-0742-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0742-4_10)
- [30] Xiang, Ooi Qi, Amir Abdullah Muhamad Damanhuri, Muhammad Ilman Hakimi Chua Abdullah, Khairum Hamzah, and Muhammad Zulkarnain. "Airflow Distribution of Hall and Classroom as Temporary Evacuation Centers: A Case Study in Melaka." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 100, no. 2 (2022): 157-168. <https://doi.org/10.37934/arfmts.100.2.157168>
- [31] Djabir, Djabir Abdoulaye, Azian Hariri, Mohamad Nur Hidayat Mat, and Md Hasanuzzaman. "Thermal Comfort of Indoor Open Spaces at University Library in Malaysia." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 94, no. 2 (2022): 142-165. <https://doi.org/10.37934/arfmts.94.2.142165>
- [32] Adzman, Ku Nur Farzana Ku, Nurdalila Saji, and Nur Aini Mohd Arish. "A Study of Daylight Optimization in Building Design in The Student's Residential College of UTHM Pagoh." *Journal of Advanced Industrial Technology and Application* 1, no. 1 (2020): 1-12.
- [33] Yunus, Faizal Amin Nur, Zuan Azhary Mohd Salleh, Mohd Syafiq Syazwan Mustafa, Haryanti Mohd Affandi, Arasinah Kamis, and Mohd Bekri Rahim. "A Study of the Effect on Air Velocity and Temperature by Altering the Shuttle Bus Parameters." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 107, no. 1 (2023): 165-173. <https://doi.org/10.37934/arfmts.107.1.165173>