

# Kajian Keselesaan Terma di Masjid Haji Muhammad Yassin, Pagoh

Muhammad Izzat Zamir Merzeland<sup>1</sup>, Mohd Fahmi Abdul Rahman<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Jabatan Teknologi Kejuruteraan Awam,

Fakulti Teknologi Kejuruteraan, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM)

Hab Pendidikan Tinggi Pagoh, KM 1, Jalan Panchor, 84600 Panchor, Johor, MALAYSIA

\*Pengarang Utama: mohdfahmi@uthm.edu.my

DOI: <https://doi.org/10.30880/peat.2025.06.01.012>

## Maklumat Artikel

Diserah: 17 Januari 2025

Diterima: 06 Februari 2025

Diterbitkan: 30 April 2025

## Kata Kunci

Keselesaan terma, Masjid,  
Pengudaraan semula jadi.

## Abstrak

Kajian dijalankan untuk menilai keselesaan terma di Masjid Haji Muhammad Yassin, Pagoh, Johor, yang menggunakan pengudaraan semula jadi. Keselesaan terma penting kerana ia mempengaruhi kesihatan, produktiviti, dan kualiti hidup manusia. Penyelidikan ini bertujuan untuk mengenal pasti persepsi pengguna terhadap keselesaan terma, mengukur parameter tahap keselesaan terma dalaman, dan menilai keselesaan terma melalui indeks Undian Min Ramalan (PMV) serta Peratusan Ramalan Tidak Berpuas Hati (PPD) berdasarkan piawaian ASHRAE Standard 55. Kajian ini menggunakan kaedah soal selidik kepada pengguna masjid dan pengukuran keselesaan terma menggunakan alat LSI Lastem untuk parameter seperti suhu udara, min suhu sinaran, kelembapan relatif, dan halaju udara mengikut ketetapan ASHRAE Standard 55. Semua data telah dikumpulkan pada satu hari. Hasil kajian yang diperolehi adalah nilai PMV ialah 2.5 dan PPD ialah 92.1% dari pengukuran persekitaran terma melalui CBE Thermal Comfort Tool manakala daripada tinjauan soal selidik, PMV ialah 1.1 dan PPD ialah 30%, serta nilai suhu operatif ( $T_o$ ) ialah 32.7°C. Dirumuskan bahawa nilai PMV dan PPD bagi kedua-dua kaedah yang dijalankan adalah melebihi had atas yang ditetapkan dalam ASHRAE Standard 55. Keadaan ini menunjukkan keselesaan terma di Masjid Haji Muhammad tidak selesa dan hangat. Cadangan penambahbaikan termasuk mempertimbangkan pemasangan sistem penghawa dingin dan pengudaraan hibrid yang lebih cekap. Kesimpulannya, peningkatan keselesaan terma di Masjid Haji Muhammad Yassin Pagoh adalah penting untuk memastikan pengguna dapat menjalankan ibadat dengan lebih selesa dan khusyuk.

## 1. Pendahuluan

Keselesaan terma adalah penting dalam memastikan kesejahteraan, produktiviti dan kesihatan manusia, terutamanya dalam iklim tropika di mana pengudaraan semula jadi biasanya digunakan dalam bangunan. Malaysia merupakan sebuah negara yang terletak berhampiran dengan garisan khatulistiwa yang memberikan ciri-ciri iklim tropika dan memiliki suhu yang hampir sama dengan kelembapan yang tinggi dan taburan hujan yang banyak [1]. Keadaan persekitaran ini sering mengakibatkan ketidakselesaan bagi penghuni bangunan, terutamanya di ruang seperti masjid yang bergantung kepada pengudaraan semula jadi. Hal ini, prestasi terma bangunan sangat penting bagi kecekapan tenaga bangunan dan keselesaan terma kepada penghuni berkekalkan

[2]. Pengudaraan semula jadi digunakan untuk memudahkan laluan bukaan pintu dan tingkap untuk memasukkan udara segar dari luar [3]. Walau bagaimanapun, disebabkan oleh kelajuan angin yang tidak konsisten dan ciri iklim yang berbeza, ia tidak mampu memberikan tahap keselesaan terma yang mencukupi di semua kawasan. Selain itu, pandangan dan kehendak penghuni bangunan membentuk persekitaran yang selesa. Penyelidikan dalam bidang keselesaan terma telah mendapat perhatian yang ketara kerana ia secara langsung mempengaruhi kecekapan tenaga, kualiti persekitaran dalaman, dan kemampuan reka bentuk seni bina. Kajian berdekad-dekad telah menumpukan pada menilai tahap keselesaan terma dalam pelbagai jenis bangunan, mengenal pasti faktor persekitaran dan peribadi yang mempengaruhi keselesaan, dan menambah baik sistem pengudaraan untuk mengoptimumkan keadaan terma [4][5].

Penyelidikan meluas telah menunjukkan bahawa faktor seperti suhu udara, kelembapan relatif, halaju udara dan min suhu sinaran memberi kesan ketara kepada keselesaan terma. Parameter ini, digabungkan dengan faktor peribadi seperti kadar metabolisme dan penebat pakaian, menentukan tahap keselesaan terma individu. Sebagai contoh, ASHRAE Standard 55 (2017) dan ISO 7730 (2005) menyediakan garis panduan yang ditetapkan untuk menilai keselesaan terma melalui indeks seperti Undian Min Ramalan (PMV) dan Peratusan Ramalan Tidak Puas Hati (PPD) [6][7]. PMV merupakan satu undian min ramalan keselesaan terma oleh kumpulan besar pengguna di bawah keadaan terma yang sama. Nilai indeks dan keadaan keselesaan, PMV dapat diklasifikasikan dengan menggunakan 7 tahap skala iaitu -3 (dingin), -2 (sejuk), -1 (sedikit sejuk), 0 (neutral), +1 (sedikit hangat), +2 (hangat), dan +3 (panas). PMV juga menggabungkan empat pemboleh ubah fizikal iaitu halaju udara, suhu udara, min suhu sinaran dan kelembapan relatif [8]. Pengeluaran haba dalaman bagi penghuni haruslah sama dengan kehilangan haba pada ruang persekitaran untuk memperolehi keseimbangan haba dan keselesaan terma. Manakala, PPD akan meramalkan peratusan orang yang mengalami ketidakselesaan dengan keadaan ruang persekitaran [9]. PPD ini juga memberikan anggaran peratusan orang yang merasakan terlalu panas dan terlalu sejuk dalam lingkungan terma. Bagi Indeks PPD mengukur peratusan individu yang tidak berpuas hati dengan iklim dalaman dan indeks ini digunakan dalam penyelidikan terdahulu untuk menilaai keselesaan terma di ruang bangunan yang diduduki [10]. 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
-1	Sedikit sejuk
-2	Sejuk
-3	Dingin

Piawaian ini menekankan kepentingan mencapai keseimbangan antara pertukaran haba dalaman dan luaran untuk mengekalkan keadaan keseimbangan terma. Walaupun pengudaraan semula jadi adalah strategi yang kos efektif dan cekap tenaga, ia sering gagal memberikan keselesaan terma yang konsisten di ruang dalaman yang besar seperti masjid disebabkan oleh pengagihan udara yang tidak sekata dan aliran udara yang tidak mencukupi semasa waktu puncak. Persekitaran terma dalam ruang sedemikian menjadi lebih rumit oleh kepadatan tinggi penghuni semasa waktu solat dan sistem pengudaraan mekanikal yang terhad. Kajian terdahulu telah menyerlahkan ketidakcukupan pengudaraan semula jadi dalam mengekalkan keselesaan terma dalam keadaan sedemikian, dengan isu seperti aliran udara bertakung dan pengumpulan haba setempat adalah perkara biasa. Ini menekankan keperluan untuk penyiasatan yang disasarkan untuk menilai keselesaan terma di masjid dan membangunkan cadangan reka bentuk untuk meningkatkan kepuasan pengguna dan kecekapan tenaga.

Masjid Haji Muhammad Yassin di Pagoh, Johor, berfungsi sebagai kajian kes yang menarik untuk siasatan ini. Masjid ini bergantung semata-mata pada pengudaraan semula jadi, ditambah dengan kipas siling dan dinding, untuk mengawal persekitaran terma dalamannya. Walau bagaimanapun, reka bentuknya, yang termasuk kubah pusat dan peredaran aliran udara yang terhad, sering mengakibatkan ketidakselesaan haba bagi pengguna, terutamanya semasa waktu puncak seperti solat Jumaat. Kajian telah menunjukkan bahawa pengudaraan semula jadi sahaja selalunya tidak mencukupi dalam menguruskan keselesaan terma di bangunan besar dan padat penduduk disebabkan oleh aliran udara yang tidak konsisten dan beban haba yang tinggi daripada penghuni dan peralatan [11]. Keadaan ini menekankan keperluan mendesak untuk strategi pengudaraan yang dipertingkatkan yang disesuaikan dengan tetapan sedemikian.

Banyak faktor mempengaruhi keselesaan terma, termasuk suhu udara, min suhu sinaran, kelembapan relatif dan halaju udara. Interaksi parameter ini menentukan sama ada individu menganggap persekitaran sebagai selesa atau tidak. Faktor peribadi seperti kadar metabolisme dan penebat pakaian merumitkan lagi dinamik ini. Menurut ASHRAE Standard 55 (2017), untuk mencapai keselesaan terma memerlukan pertimbangan yang

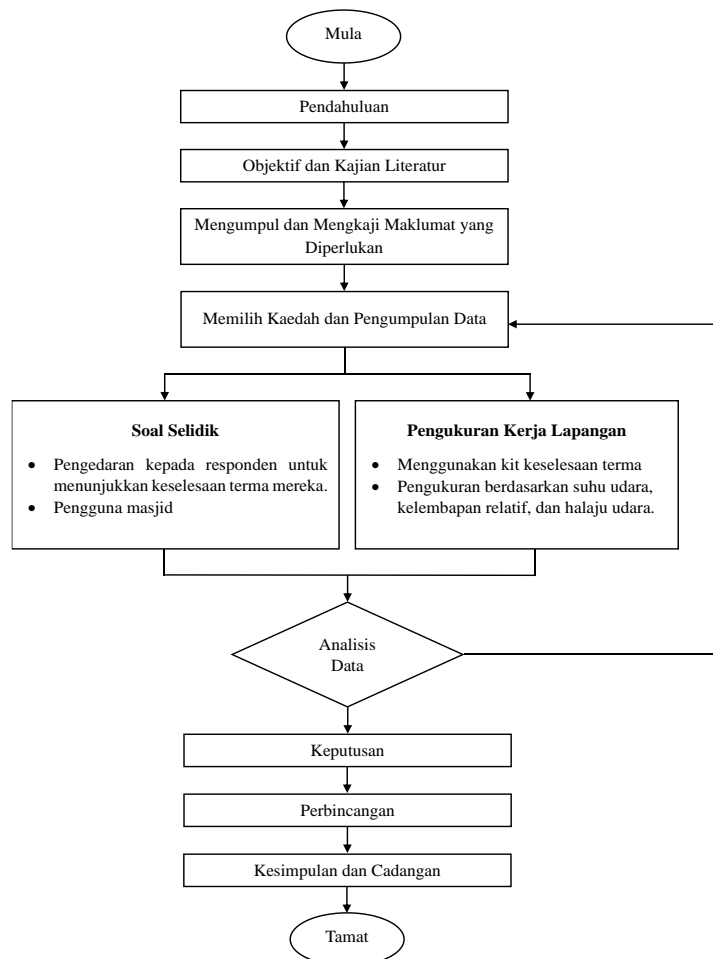
seimbang bagi pembolehubah ini. Namun, kajian telah menekankan bahawa sistem pengudaraan semula jadi sering bergelut untuk memenuhi piawaian ini dalam iklim panas-lembap seperti Malaysia, di mana keadaan luaran memburukkan lagi ketidakselesaan dalaman [12].

Objektif kajian keselesaan terma ini adalah untuk mengenalpasti persepsi pengguna terhadap keselesaan terma, mengukur parameter tahap keselesaan terma dalaman masjid dan menilai keselesaan terma dengan melaksanakan PMV dan PPD di Masjid Haji Muhammad Yassin. Kajian ini menentukan kepada pengukuran subjektif dan pengukuran kerja lapangan untuk mengumpulkan data keselesaan terma. Antara parameter keselesaan yang akan diperolehi daripada pengumpulan data ini adalah suhu udara, min suhu sinaran, kelembapan relatif, halaju udara, undian min ramalan (PMV), peratusan ramalan tidak berpuas hati (PPD) dan suhu operatif ( $T_o$ ). Hasil kajian ini dapat memberi panduan dalam merancang ruang dalam bangunan yang lebih selesa dan mesra pengguna, khususnya di kawasan-kawasan seperti masjid yang mempunyai jumlah pengunjung yang tinggi pada waktu tertentu.

Skop kajian ini tertumpu pada penilaian keselesaan terma di Masjid Haji Muhammad Yassin Pagoh, Johor, Malaysia, yang menggunakan pengudaraan semula jadi. Kajian melibatkan soal selidik terhadap pengguna mengenai persepsi keselesaan terma, serta pengukuran kerja lapangan untuk meramal sensasi haba daripada Undian Min Ramalan (PMV) dan Peratusan Ramalan Tidak Berpuas Hati (PPD). Data dikumpulkan dengan menggunakan kit keselesaan terma dan dinilai berdasarkan ASHRAE Standard 55. Pengumpulan data dilakukan dalam dua sesi iaitu sesi tengah hari untuk penggunaan padat dan sesi petang untuk penggunaan normal.

## 2. Metodologi

Metodologi merupakan mengumpul data dan mengendalikan kaedah yang digunakan bagi penyelidikan. Metodologi dapat menggabungkan penyesuaian kajian dan analisis data bagi memastikan kajian dapat dicapai dengan baik. Gambaran keseluruhan proses metodologi ini menunjukkan beberapa prosedur untuk menjalankan analisis yang telah dipilih untuk mencapai kajian ini. Rajah 1 menunjukkan carta alir metodologi.



**Raj. 1:** Carta Metodologi

## 2.1 Pengukuran Subjektif (Soal Selidik)

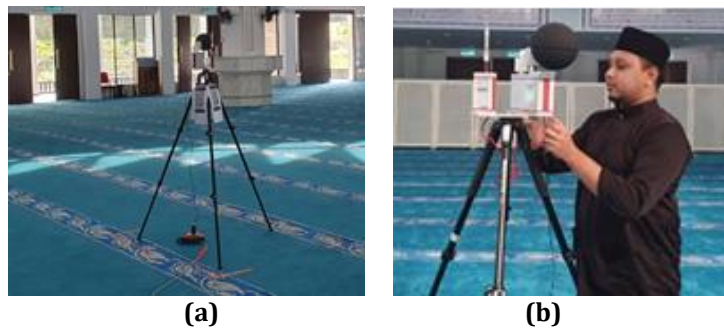
Kajian ini menggunakan kaedah pengukuran subjektif iaitu soal selidik keselesaan terma berdasarkan ASHRAE Standard 55 (2017). Pengukuran subjektif ini bagi menentukan persepsi pengguna mengenai tahap keselesaan terma dalaman. Soal selidik diedarkan dengan menggunakan kaedah *Google Form* kepada pengguna masjid dengan megemukakan soalan yang ringkas dan mudah difahami. Seramai 93 responden telah menjawab soal selidik ini. Kandungan soal selidik ditunjukkan dalam Jadual 2.

**Jadual 2:** Kandungan Soal Selidik

Bahagian	Tajuk Kandungan
A	Demografik maklumat
B	Persepsi keselesaan terma dan sensasi terma pengguna
C	Jenis pakaian

## 2.2 Pengukuran Keselesaan Terma (Parameter Keselesaan Terma)

Pengukuran kerja lapangan keselesaan terma dalaman di Masjid Haji Muhammad Yassin melalui parameter keselesaan terma yang mengukur suhu udara, min suhu sinaran, kelembapan relatif dan halaju udara. Alat yang digunakan untuk kaedah pengukuran keselesaan terma dalaman bagi mengukur parameter terma ini adalah alat keselesaan terma jenis alat LSI Lastem keselesaan terma ini mempunyai keupayaan untuk mengukur parameter keselesaan terma dan PMV dan PPD. Alat keselesaan terma diletak di kawasan tengah dalam masjid pada jarak 1.1m dari lantai. Kadar metabolik pengguna ditetapkan pada alat adalah 1.2 met dan nilai pakaian adalah 0.8 clo kerana aktiviti pengguna yang santai di dalam masjid dan mempunyai penebat terma yang sesuai dan selesa.



**Raj. 2:** Pengukuran kerja lapangan (a) Kedudukan alat LSI Lastem (b) Memasang alat LSI Lastem

## 2.3 Kaedah Analisis Data

Data yang dikumpul sepanjang 1 hari untuk ruang dalam masjid pada 18 Oktober 2024 dari waktu pagi sehingga petang di masjid Haji Muhammad Yassin. Data terkumpul daripada pengukuran subjektif dan pengukuran kerja lapangan yang melibatkan parameter seperti suhu udara, min suhu sinaran, kelembapan relatif dan halaju udara dianalisis menggunakan kaedah undian sensasi terma (TSV), undian min ramalan (PMV), peratusan ramalan yang tidak berpuas hati (PPD), dan suhu operatif ( $T_o$ ) yang berdasarkan ASHRAE Standard 55 (2017). Kemudiannya, data daripada PMV dan PPD ditafsirkan menggunakan menggunakan perisian CBE Thermal Comfort Tool untuk perbandingan pengumpulan data melalui alat keselesaan terma dan perisian ini menghasilkan keputusan yang sama dan tepat. Perisian ini membantu untuk mengira dan menganalisis hasil yang diperlukan seperti suhu operatif, kelajuan udara dan purata suhu luar biasa dengan data parameter iaitu suhu udara, min suhu sinaran, kelembapan relatif dan halaju udara serta kadar metabolik dan nilai penebat pakaian dimasukkan bagi mengira indeks keselesaan terma yang diperolehi untuk keselesaan terma pengguna.

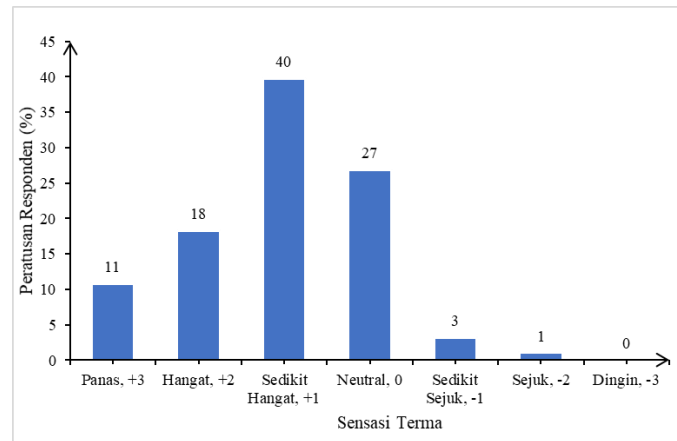
## 3. Keputusan dan Perbincangan

### 3.1 Pengukuran Subjektif (Soal Selidik)

Soal selidik kepada pengguna dilakukan sepanjang 1 hari pada 18 Oktober 2024 dari waktu pagi sehingga petang di Masjid Haji Muhammad Yassin yang mengikut ditetapkan ASHRAE Standard 55 (2017). Jumlah responden yang dikumpul daripada tinjauan soal selidik adalah sebanyak 93 responden. Data tersebut ditafsirkan dengan menggunakan perisian Microsoft Excel dan dianalisis berdasarkan piawaian ASHRAE Standard 55 (2017) untuk menilai tahap keselesaan terma penghuni mengikut parameter seperti suhu operatif, kelembapan relatif, dan kelajuan udara.

### 3.1.1 Sensasi terma

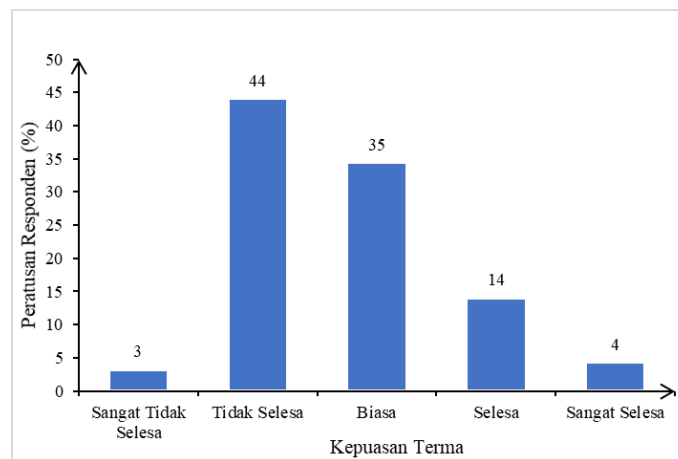
Rajah 3 menunjukkan peratusan sensasi terma responden di masjid Haji Muhammad Yassin. Sensasi terma dapat dikategorikan kepada 7 skala iaitu panas (+3), hangat (+2), sedikit hangat (+1), neutral (0), sedikit sejuk (-1), sejuk (-2) dan dingin (-3). Berdasarkan rajah 4.5, majoriti responden merasakan keadaan terma di masjid Haji Muhammad Yassin berada dalam kategori sedikit hangat iaitu sebanyak 40% bersamaan 37 responden. Oleh itu, dapat ditafsirkan bahawa kebanyakan responden kurang berpuas hati dengan sensasi terma di masjid tersebut.



Raj. 3: Sensasi Terma

### 3.1.2 Kepuasan Terma

Rajah 4 menunjukkan peratusan kepuasan terma di Masjid Haji Muhammad Yassin berdasarkan respons daripada 93 orang responden. Daripada jumlah tersebut, sebanyak 44% atau 41 responden melaporkan bahawa mereka merasakan suhu di dalam masjid tidak selesa. Ini menunjukkan bahawa hampir separuh daripada responden merasa kurang selesa dengan keadaan suhu di dalam masjid tersebut.



Raj. 4: Kepuasan Terma

## 3.2 Pengukuran Keselesaan Terma (Parameter Keselesaan Terma)

Pengukuran kerja lapangan dilakukan dengan menggunakan alat keselesaan terma iaitu LSI Lastem, yang akan membaca parameter persekitaran terma iaitu suhu udara, min suhu sinaran, kelembapan relatif dan halaju udara. Suhu luaran dikira secara purata iaitu 28.4 °C. Berdasarkan jadual 3 dibawah, perubahan suhu udara yang direkodkan di Masjid Haji Muhammad Yassin sepanjang satu tempoh masa, dari 11:40 pagi hingga 4:40 petang. Suhu udara meningkat dengan ketara pada waktu tengah hari, mencapai suhu tertinggi sekitar 32.3°C pada 1:20 petang. Peningkatan suhu ini disebabkan oleh intensiti cahaya matahari yang lebih tinggi dan merupakan waktu puncak untuk pengguna berkumpul bagi menunaikan solat. Min suhu sinaran mencapai suhu sekitar 33.1°C. Peningkatan ini berkemungkinan besar disebabkan oleh sinaran matahari yang lebih kuat pada waktu tengah hari, yang mempengaruhi suhu permukaan di kawasan masjid.

Berikutnya, kelembapan relatif mencapai peratusan sekitar terendah adalah 62.2%. Penurunan kelembapan ini mungkin disebabkan oleh peningkatan suhu sepanjang hari, yang mengurangkan kandungan

kelembapan dalam udara. Kelembapan relatif berkait secara songsang dengan suhu udara. Jika suhu meningkat, kelembapan relatif berkurangan. Manakala bagi halaju udara adalah 0.2 m/s pada 11.40 pagi, kemudian turun dan stabil pada 12 tengah hari sehingga 4.40 petang pada tahap 0.1 m/s. Corak ini menunjukkan bahawa kawasan Masjid Haji Muhammad Yassin mungkin mengalami keadaan angin yang sangat lemah atau hampir tiada angin sepanjang tempoh pemerhatian. Faktor persekitaran seperti keadaan cuaca setempat atau lokasi masjid yang mungkin terlindung daripada aliran angin boleh mempengaruhi bacaan halaju udara yang rendah dan stabil ini.

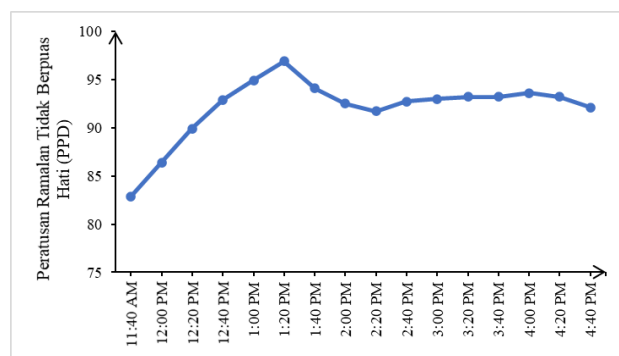
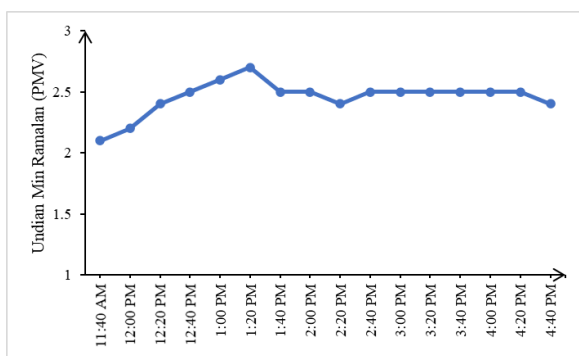
**Jadual 3:** Pengumpulan Data: Parameter Persekitaran terma

Hari	Waktu	Suhu Luaran (°C)	Suhu Udara (°C)	Min Suhu Sinaran (°C)	Kelembapan Relatif (%)	Halaju Udara (m/s)
Jumaat	11:40 am	28.4	30.1	31.2	72.7	0.2
	12:00 pm		30.4	31.4	71.7	0.1
	12:20 pm		31	31.8	69.8	0.1
	12:40 pm		31.4	32.2	68.8	0.1
	1:00 pm		31.9	32.7	67.4	0.1
	1:20 pm		32.3	33.1	69.7	0.1
	1:40 pm		31.6	32.5	67.5	0.1
	2:00 pm		31.4	32.3	66.3	0.1
	2:20 pm		31.3	32.2	64.8	0.1
	2:40 pm		31.4	32.4	65	0.1
	3:00 pm		31.5	32.5	64.5	0.1
	3:20 pm		31.6	32.5	63.3	0.1
	3:40 pm		31.7	32.6	62.3	0.1
	4:00 pm		31.7	32.6	62.5	0.1
	4:20 pm		31.7	32.6	62.2	0.1
	4:40 pm		31.5	32.3	63.1	0.1

### 3.3 Undian min ramalan (PMV) dan peratusan ramalan tidak berpuas hati (PPD)

Rajah 5(a) menunjukkan perubahan Undian Min Ramalan (PMV) terhadap masa, dari 11:40 pagi hingga 4:40 petang, berdasarkan data yang direkodkan di Masjid Haji Muhammad Yassin. PMV ialah salah satu parameter utama yang digunakan untuk menilai keselesaan terma berdasarkan ASHRAE Standard 55 (2017), yang mengukur sejauh mana persekitaran termal dirasakan oleh pengguna, dengan skala dari -3 (sejuk) hingga +3 (panas). Dalam rajah ini, nilai PMV bermula pada 2.1 pada 11:40 pagi dan meningkat secara konsisten hingga mencapai nilai puncak 2.7 pada 1:20 petang.

Manakala, rajah 5(b) menunjukkan peratusan ramalan tidak berpuas hati (PPD) terhadap masa, yang digunakan untuk menilai keselesaan terma pengguna di Masjid Haji Muhammad Yassin berdasarkan standard ASHRAE 55. PPD ialah metrik yang berkait rapat dengan PMV dan menunjukkan peratusan pengguna yang mungkin merasa tidak selesa dengan keadaan termal persekitaran. Berdasarkan graf, nilai PPD bermula pada 82.9% pada 11:40 pagi dan meningkat secara berterusan sehingga mencapai puncak 96.9% pada 1:20 petang. Menurut ASHRAE 55, julat PMV antara -0.5 hingga +0.5 dianggap sebagai zon keselesaan terma dan PPD yang kurang daripada 10% adalah tanda persekitaran yang termal selesa. Berdasarkan rajah ini, semua nilai PMV dan PPD berada di luar zon keselesaan, menunjukkan bahawa pengguna di masjid mungkin berasa tidak selesa akibat persekitaran yang panas.



**Raj. 5:** Graf bagi peratusan PMV dan PPD (a) PMV (b) PPD

Empat parameter persekitaran terma telah diukur di Masjid Haji Muhammad Yassin, iaitu suhu udara, suhu sinaran purata, kelembapan relatif, dan halaju udara. Selain itu, dua parameter peribadi turut diambil kira, iaitu kadar metabolisme dan penebat pakaian. Berdasarkan setiap parameter ini, termasuk Undian Min Ramalan (PMV) dan Peraturan Ramalan Tidak Berpuas Hati (PPD) bagi setiap responden telah dikira menggunakan perisian CBE Thermal Comfort Tool. Kadar metabolisme pengguna di masjid ini dianggarkan pada 1.2 met, manakala purata nilai penebat pakaian adalah 0.8 clo. Data input yang digunakan dalam analisis ini ditunjukkan dalam Jadual 4 di bawah.

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

Parameter	Data Purata
Suhu udara	31.4
Min suhu sinaran	32.3
Kelembapan relatif	66.4
Halaju udara	0.1
Kadar metabolik	1.2
Penebat Pakaian	0.8
PMV	2.5
PPD	92.1

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

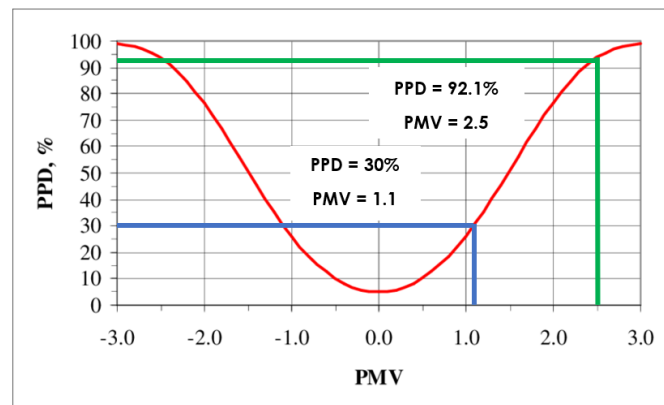
Dingin	Sejuk	Sedikit sejuk	Neutral	Sedikit hangat	Hangat	Panas
0	1	3	25	37	17	10
Tidak berpuas hati= 1			Berpuas hati= 65		Tidak berpuas hati= 27	

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

$$PPD = \frac{27+1}{93} \times 100$$

$$PPD = 30\%$$

Rajah 6 menunjukkan graf PPD melawan PMV, yang menggambarkan hubungan antara PPD dan PMV. Daripada pengiraan undian sensasi terma iaitu 30% pengguna tidak berpuas hati dengan persekitaran terma di Masjid Haji Muhammad Yassin, menerusi graf tersebut nilai PMV yang diperolehi adalah +1.1. Nilai ini terletak dalam skala keadaan terma sedikit hangat (+1) dan hangat (+2). Hal ini menunjukkan ketidakelesaian terma yang ketara kerana nilai ini lebih tinggi daripada had atas +0.5 yang telah ditetapkan oleh piawaian ASHRAE 55.



**Raj. 6:** Graf PPD melawan PMV

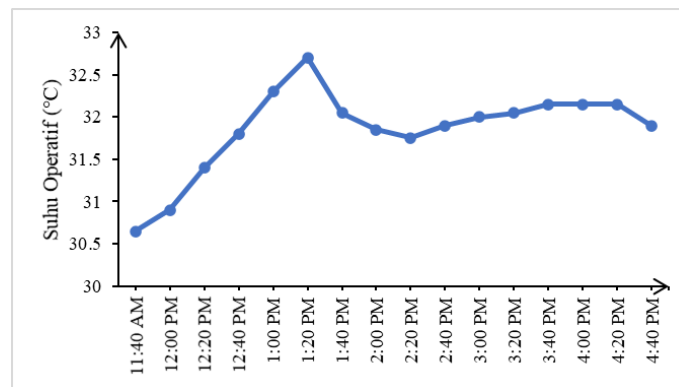
Nilai PPD dan PMV daripada kerja lapangan dengan menggunakan alat penyelesaian terma LSI Lastem yang menunjukkan nilai diperolehi adalah 2.5 untuk PMV dan 92.1% untuk PPD. Keputusan ini menunjukkan keadaan terma yang sangat tidak selesa dengan sebahagian besar pengguna merasa panas. Oleh itu, keadaan terma di masjid tidak memenuhi tahap penyelesaian yang disarankan, menyebabkan ketidakpuasan yang tinggi di kalangan pengguna.

### 3.3.1 Suhu Operatif (T<sub>o</sub>)

Suhu operatif (T<sub>o</sub>) adalah ukuran keselesaan terma yang menggabungkan suhu udara dan suhu radiasi. Dalam bangunan, pengudaraan semulajadi mempengaruhi T<sub>o</sub> dengan menyeimbangkan aliran udara segar dan panas. Menurut ASHRAE Standard 55 (2017), T<sub>o</sub> harus berada dalam julat tertentu bergantung pada kelembapan relatif dan kelajuan udara. Pengiraan T<sub>o</sub> melibatkan data suhu sinaran rata-rata (T<sub>r</sub>) yang diperoleh daripada alat seperti LSI Lastem, berdasarkan suhu glob (T<sub>g</sub>) mengikut ASHRAE 55. Persamaan dibawah digunakan untuk pengiraan suhu operatif (T<sub>o</sub>). Berikut ungkapan dengan Persamaan 2 seperti yang ditunjukkan di bawah:

$$T_o = AT_a + (1-A) T_r \tag{2}$$

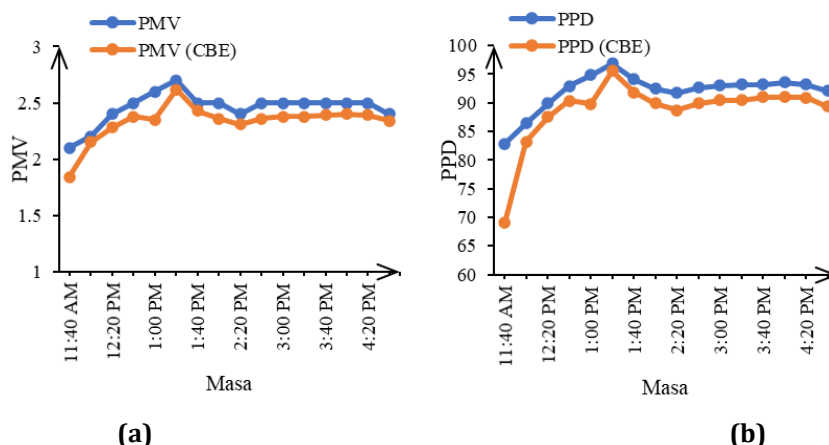
Berdasarkan Rajah 7, suhu operatif menunjukkan peningkatan berterusan dari 30.65°C pada pukul 11:40 pagi hingga mencapai puncak tertinggi pada 32.7°C pada pukul 1:20 petang. Pada akhir pemerhatian, iaitu pukul 4:40 petang, suhu operatif menurun sedikit kepada 31.9°C. Nilai suhu operatif ini melebihi julat yang ditetapkan ASHRAE 55 antara 24°C - 29°C. Pergerakan graf ini menunjukkan bahawa suhu operatif di kawasan Masjid Haji Muhammad Yassin dipengaruhi oleh perubahan suhu sekitar yang meningkat menjelang tengah hari dan menurun selepas itu, selaras dengan pola biasa perubahan suhu harian.



Raj. 7: Peratusan suhu operatif (T<sub>o</sub>)

### 3.3.2 CBE Thermal Comfort Tool

Rajah 8 menunjukkan perbandingan nilai PMV dan PPD menggunakan data kajian lapangan dan CBE Thermal Comfort Tool. Rajah 5(a) menunjukkan nilai PMV meningkat dari 11:40 pagi, memuncak sekitar 1 petang, kemudian sedikit menurun tetapi kekal tinggi hingga 4:20 petang. Rajah 5(b) menunjukkan pola serupa bagi PPD. Perbezaan antara data sebenar dan yang dikira adalah kecil, namun pola perubahan konsisten. Kesimpulannya, tahap ketidakselesaan termal tertinggi berlaku sekitar 1 petang (PMV >2.0, PPD >80%), menandakan ruang tidak selesa. Ini menunjukkan keperluan untuk penambahbaikan pengurusan suhu dan aliran udara bagi keselesaan optimum.



Raj. 8: Perbandingan nilai PMV dan PPD dengan CBE Thermal Comfort Tool (a) PMV (b) PPD

### 3.4 Perbandingan Data dengan Piawaian

Jadual 6 menunjukkan perbandingan yang jelas antara keputusan PMV dan PPD yang diperolehi di Masjid Haji Muhammad Yassin dengan piawaian keselesaan terma yang ditetapkan oleh ASHRAE Standard 55. Keputusan di masjid menunjukkan bahawa julat PMV adalah antara  $2.1 < PMV < 2.7$ , manakala daripada CBE Thermal Comfort tool julat PMV adalah antara  $1.84 < PMV < 2.64$  yang mencerminkan tahap keselesaan terma yang kurang memuaskan kerana nilai ini jauh melebihi julat yang disarankan oleh ASHRAE 55, iaitu  $-0.5 < PMV < +0.5$ . Kemudiannya, nilai PPD di masjid dicatatkan dalam lingkungan 83% hingga 97%, yang bermaksud peratusan individu yang tidak berasa selesa adalah sangat tinggi, manakala nilai PPD daripada perisian adalah antara 69.1% hingga 95.6%. Hal ini jauh berbeza dengan ASHRAE Standard 55 (2017), yang mensasarkan agar nilai PPD kekal kurang dari 10% untuk memastikan persekitaran dalaman memenuhi tahap keselesaan terma yang optimum. Manakala suhu operatif didapati telah melebihi had keselesaan yang ditetapkan iaitu untuk suhu operatif adalah antara  $30.65^{\circ}\text{C} - 32.7^{\circ}\text{C}$  pada waktu puncak yang telah melebihi julat yang ditetapkan ASHRAE 55 antara  $24^{\circ}\text{C} - 29^{\circ}\text{C}$ . Oleh itu, menunjukkan bahawa masjid ini tidak memberikan keselesaan terma yang baik, terutamanya semasa waktu puncak seperti solat Jumaat.

**Jadual 6:** Perbandingan data dengan piawaian

	Julat Keputusan	CBE Thermal Comfort Tool	ASHRAE Standard 55 (2017)
PMV	$2.1 < PMV < 2.7$	$1.84 < PMV < 2.64$	$-0.5 < PMV < +0.5$
PPD	83% - 97%	69.1% - 95.6%	<10
Suhu Operatif	$30.65^{\circ}\text{C} - 32.7^{\circ}\text{C}$	NA	$24^{\circ}\text{C} - 29^{\circ}\text{C}$

## 4. Kesimpulan

Kajian ini berjaya mencapai objektif mengenal pasti tahap keselesaan terma di Masjid Haji Muhammad Yassin. Hasil soal selidik mendapati majoriti pengguna merasa kurang selesa, dengan sensasi terma sedikit hangat hingga panas, terutamanya semasa waktu puncak seperti solat Jumaat. Pengukuran lapangan menunjukkan suhu udara mencecah  $32.3^{\circ}\text{C}$ , halaju udara rendah ( $0.1 \text{ m/s}$ ), dan kelembapan relatif tidak mencukupi, yang berada di luar julat keselesaan ASHRAE Standard 55 (2017).

Penilaian PMV dan PPD juga melebihi had yang disarankan, dengan nilai suhu operatif mencapai  $32.7^{\circ}\text{C}$ , melebihi julat keselesaan  $24^{\circ}\text{C} - 29^{\circ}\text{C}$ . Ini menunjukkan pengudaraan semula jadi masjid tidak mencukupi untuk memenuhi keperluan keselesaan terma dalam iklim tropika. Penambahbaikan segera diperlukan bagi meningkatkan keselesaan pengguna dan mematuhi piawaian keselesaan terma.

## Penghargaan

Kajian ini dilakukan dengan kerjasama dari pihak responden kajian yang terdiri daripada pengguna masjid di Masjid Haji Muhammad Yassin, Pagoh. Tidak lupa juga setinggi penghargaan kepada penyelia projek yang banyak membantu dalam kajian ini. Terima kasih kepada semua pihak yang sudi membantu sehingga kajian ini dapat disiapkan.

## Konflik Kepentingan

Penulis mengumumkan bahawa tidak ada konflik kepentingan yang berkaitan dengan penerbitan makalah ini.

## Sumbangan Penulis

Jurnal ini mengkehendaki semua penulis mengambil tanggungjawab awam terhadap kandungan kerja yang dihantar untuk ulasan. Sumbangan semua penulis harus dijelaskan dengan cara berikut:

*Penulis mengesahkan tanggungjawab tunggal untuk perkara berikut: konsepsi dan reka bentuk kajian, pengumpulan data, analisis dan interpretasi hasil, serta penyediaan manuskrip.*

## Rujukan

- [1] Nadirah Ishak, A., Hidayah, N., Ahmad, T., Singh, M., Singh, J., Elektrik, J., ... Bina, A. (2021). Penganalisaan Taburan Hujan Diurnal terhadap Angin Monsun di Malaysia dengan Menggunakan Data Satelit TRMM (The Diurnal Variation of Rain Intensity in Malaysia for Monsoon Region using TRMM Satelit Data). Jurnal Kejuruteraan, 33(3). [https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33\(3\)-30](https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33(3)-30).

- [2] Azmi, N. A., Baharun, A., Arıcı, M., & Ibrahim, S. H. (2023). Improving thermal comfort in mosques of hot-humid climates through passive and low-energy design strategies. *Frontiers of Architectural Research*, 12(2), 361-385.
- [3] Noman, F. G., Kamsah, N., & Kamar, H. M. (2016). Improvement of thermal comfort inside a mosque building. *Jurnal Teknologi*, 78(8-5), 9-18.
- [4] Fanger, P.O. (1973). *Thermal Comfort*. New York: McGraw Hill.
- [5] Abdul Rahman, A. (2014). Analisis keselesaan termal di bangunan fakulti Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM), Johor (Doctoral dissertation, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia).
- [6] ASHRAE (2017). Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Standard 55.
- [7] ISO 7730, (2005). Ergonomics of thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [8] Shi, Z., Liu, Q., Zhang, Z., & Yue, T. (2022). Thermal Comfort in the Design Classroom for Architecture in the Cold Area of China. *Sustainability*, 14(14), 8307–8307.
- [9] Guenther, S. (2021). What Is PMV? What Is PPD? Basics of Thermal Comfort | SimScale. *Simscale Blog*.
- [10] Riffelli, Stefano. (2021). Global Comfort Indices in Indoor Environments: A Survey. *Sustainability*, 13(22), 12784–12784.
- [11] Ghaleb, F. (2017). Effect of ventilation fan on thermal comfort in a medium size mosque (Doctoral dissertation, PhD thesis, Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Mechanical Engineering).
- [12] Daud, S. M., Ahmad, S., Hashim, N. M., & Yusoff, Y. M. (2015). Keselesaan terma pelajar dalam bilik darjah: Kajian Kes di Sekolah Agama Menengah Tinggi Sultan Hisamuddin, Klang, Selangor Darul Ehsan (Classroom thermal comfort in Klang, Selangor Darul Ehsan: A case study). *Geografia*, 11(4).