

# Kajian Penilaian Indeks Ketidakselesaan Termal Di Bilik Darjah Bagi Bangunan Berkonsepkan Konvensional Dan Sistem Binaan Berindustri (Sistem Konkrit Pratuang) Di Sekolah Kebangsaan Sura, Dungun, Terengganu

Nor Afzan binti Ariffin<sup>1\*</sup>, Mohd Anuar bin Mohd Bunyami<sup>2</sup>, Zaiton binti Ibrahim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Sultan Mizan Zainal Abidin, 23000 Dungun, Terengganu

<sup>2</sup>Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Politeknik Sultan Mizan Zainal Abidin, 23000 Dungun, Terengganu

\*Corresponding author E-mail: afzan@psmza.edu.my

## Abstrak

Kajian ini bertujuan untuk menilai dan membandingkan tahap ketidakselesaan termal berdasarkan *Temperature-Humidity Index* (THI) antara dua bilik darjah di Sekolah Kebangsaan Sura, Dungun, Terengganu. Kelas 5 Al-Jazzar mewakili bangunan berkonsepkan konvensional, manakala kelas 6 Al-Battani terletak dalam bangunan berasaskan Sistem Binaan Berindustri (IBS) jenis sistem konkrit pratuang. Kajian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui pencerapan suhu dan kelembapan relatif menggunakan *Xiaomi Humidity Temperature Sensor*. Cerapan dijalankan secara berkala dari jam 7.30 pagi hingga 1.30 petang setiap hari Jumaat dan Sabtu, sepanjang Ogos hingga Oktober 2024. Data dianalisis menggunakan formula THI yang berasaskan model empirik *Fanger* (1970). Hasil dapatan menunjukkan bahawa bilik darjah konvensional mencatatkan nilai purata THI lebih rendah (25.8) berbanding IBS (27.9), menunjukkan tahap keselesaan termal yang lebih baik dalam konteks iklim tropika. Kajian mencadangkan beberapa penambahbaikan seperti reka bentuk bangunan yang mengoptimumkan pengudaraan semula jadi, penggunaan bahan binaan mesra haba, serta pemasangan penambat haba pada bumbung dan dinding. Kajian lanjutan turut disarankan bagi mempertimbangkan parameter tambahan seperti halaju udara, suhu sinaran purata dan tingkah laku murid. Kajian ini dapat menjadi rujukan penting kepada arkitek, jurutera dan pembuat dasar dalam usaha mewujudkan persekitaran pembelajaran yang lebih selesa dan efisien.

**Kata Kunci:** Persekitaran Termal, *Temperature-Humidity Index* (THI), Bangunan Konvensional, Sistem Binaan Berindustri (IBS), Bilik Darjah

## 1. Pengenalan

Malaysia merupakan sebuah negara yang terletak di garisan khatulistiwa dan mempunyai iklim tropika dengan suhu purata tahunan sekitar 27°C dan kelembapan relatif yang tinggi. Keadaan ini lebih ketara di kawasan Pantai Timur seperti Terengganu yang terdedah kepada iklim panas dan lembap sepanjang tahun, terutamanya semasa musim monsun. Persekitaran seperti ini memberikan cabaran kepada keselesaan termal, terutama di bangunan sekolah yang digunakan sepanjang hari.

Keselesaan termal dalam bilik darjah memainkan peranan penting dalam memastikan kesejahteraan serta prestasi pelajar dan guru. Oleh kerana pelajar menghabiskan sebahagian besar masa mereka di dalam bilik darjah, persekitaran pembelajaran yang kondusif sangat mempengaruhi keberkesanan proses pengajaran dan pembelajaran. Suhu yang tidak sesuai dan kepadatan bilik darjah yang tinggi boleh menyumbang kepada ketidakselesaan termal, sekali gus memberi kesan negatif terhadap tumpuan, tingkah laku dan pencapaian akademik pelajar (Azmi et al., 2020).

Menurut piawaian *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2017), keselesaan termal ditakrifkan sebagai keadaan minda yang menyatakan tahap kepuasan terhadap persekitaran terma. Ia bergantung kepada kombinasi faktor persekitaran seperti suhu udara, kelembapan, aliran udara, serta faktor peribadi seperti metabolisme dan pakaian. Ketidakselesaan termal boleh menyebabkan pelbagai kesan negatif seperti keletihan, sakit kepala, dan iritasi kulit (Fanger, 1970).

Faktor utama yang mempengaruhi keselesaan termal boleh dibahagikan kepada tiga kategori utama. Pertama ialah faktor manusia, merangkumi kadar metabolisme, tahap pakaian, saiz badan dan aktiviti fizikal yang dilakukan. Kedua ialah faktor dalaman bangunan, termasuk

suhu udara, kelembapan relatif, aliran udara, suhu radiasi, jenis bahan binaan, susun atur ruang serta bilangan dan saiz bukaan untuk pengudaraan. Ketiga pula ialah faktor luaran, seperti radiasi suria, halangan sekeliling dan pergerakan angin luar yang memberi kesan langsung kepada mikroiklim dalaman bangunan. Kajian oleh Kim, Shin, dan Cho (2021) serta Aparicio-Ruiz et al. (2024) menegaskan bahawa interaksi antara kesemua faktor ini memainkan peranan penting dalam menentukan tahap keselesaan termal, terutamanya dalam konteks bilik darjah berpenghuni di kawasan tropika seperti Malaysia. Tambahan pula, Izquierdo et al. (2022) menyatakan bahawa keberkesanan sistem pengudaraan, bahan binaan dan konfigurasi ruang turut memberi kesan signifikan terhadap kestabilan termal dalam persekitaran pembelajaran.

Jenis sistem pembinaan juga memainkan peranan penting dalam menentukan prestasi termal sesebuah bangunan. Bangunan konvensional lazimnya menggunakan bahan binaan seperti batu bata dan konkrit yang mempunyai ciri penambat haba semula jadi. Sebaliknya, Sistem Binaan Berindustri (IBS) seperti sistem konkrit pratuang menawarkan kelebihan dari segi kecekapan masa dan kos, namun keberkesanan termal masih memerlukan kajian lanjut (Mohamed et al., 2019).

Kajian ini menggunakan pendekatan praktikal yang lazim digunakan dalam penilaian ketidakselesaan termal bagi bangunan di kawasan tropika seperti di Malaysia, khususnya di persekitaran sekolah. Penilaian dibuat dengan menceraap bacaan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kelembapan relatif (%) untuk mengira indeks *Temperature-Humidity Index (THI)* sebagai gambaran awal tahap ketidakselesaan termal. THI ialah indeks yang mengukur tahap tekanan haba atau ketidakselesaan berdasarkan suhu dan kelembapan. Semakin tinggi nilai THI, semakin tidak selesa seseorang akan rasa dalam persekitaran itu. Pendekatan ini adalah ringkas dan berpanduan piawaian *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Standard 55* bagi menilai tahap ketidakselesaan berdasarkan parameter fizikal utama.

### 1.1 Pernyataan Masalah

Sekolah di kawasan tropika seperti Dungun, Terengganu sering berdepan cabaran dalam memastikan keselesaan termal yang optimum di bilik darjah, khususnya akibat suhu persekitaran yang tinggi dan kelembapan relatif yang ketara. Keadaan ini boleh menjejaskan tumpuan murid serta keberkesanan pengajaran dan pembelajaran.

Perbezaan reka bentuk dan bahan binaan antara bangunan sekolah yang dibina secara konvensional dan yang menggunakan Sistem Binaan Berindustri (IBS) jenis sistem konkrit pratuang turut mempengaruhi persekitaran dalaman, terutamanya dari aspek suhu dan kelembapan. Namun, masih tiada kajian empirik yang menilai dan membandingkan tahap ketidakselesaan termal antara kedua-dua jenis sistem pembinaan ini secara khusus dalam konteks bilik darjah sekolah rendah di kawasan pesisir pantai.

Kekurangan data dan bukti saintifik ini menyukarkan usaha untuk mengenal pasti pendekatan pembinaan yang lebih kondusif dari sudut keselesaan termal. Oleh itu, kajian ini dijalankan bagi menilai indeks ketidakselesaan termal iaitu *Temperature-Humidity Index (THI)* sebagai gambaran awal tahap ketidakselesaan termal di bilik darjah bagi bangunan sekolah yang dibina berkonsepkan konvensional dan Sistem Binaan Berindustri (IBS) jenis sistem konkrit pratuang. Kajian ini juga sebagai usaha menyokong pembangunan infrastruktur pendidikan yang lebih selesa, mampan, dan mesra iklim.

## 1.2 Objektif Kajian

- i. Menilai dan membandingkan tahap ketidakselesaian termal berdasarkan indeks *Temperature-Humidity Index* (THI) antara bilik darjah yang terletak di bangunan berkonsepkan konvensional dan Sistem Binaan Berindustri (IBS) jenis sistem konkrit pratuang di Sekolah Kebangsaan Sura, Dungun.
- ii. Merumuskan cadangan reka bentuk dan strategi pengurusan bangunan yang sesuai bagi mengurangkan tahap ketidakselesaian termal dalam bilik darjah sekolah rendah.

## 1.3 Skop Kajian

Kajian ini dijalankan di dua buah bilik darjah di Sekolah Kebangsaan Sura, Dungun, Terengganu, iaitu Kelas 5 Al-Jazzar yang terletak di bangunan konvensional dengan keluasan 56 m<sup>2</sup>, dan Kelas 6 Al-Battani yang berada di bangunan berasaskan Sistem Binaan Berindustri (IBS) jenis konkrit pratuang dengan keluasan 58 m<sup>2</sup>. Oleh kerana keluasan kedua-dua bilik darjah hampir sama, perbandingan dalam kajian ini dapat dijalankan dengan lebih seimbang dan adil.

Kajian ini dijalankan bagi menilai indeks ketidakselesaian termal iaitu *Temperature-Humidity Index* (THI) sebagai gambaran awal tahap ketidakselesaian termal di bilik darjah. Nilai THI ini dikira dari nilai suhu (°C) dan kelembapan relatif (%) yang dicerap menggunakan *Xiaomi Humidity Temperature Sensor*. Tempoh pencerapan di buat pada setiap hari jumaat dan sabtu pada bulan Ogos sehingga Oktober 2024. Masa cerapan adalah bermula dari jam 7.30 pagi hingga 1.30 petang bersesuaian dengan tempoh persekolahan biasa. Pemilihan tempoh pencerapan 7.30 pagi hingga 1.30 petang adalah sejajar dengan pensampelan waktu penghunian sebenar di sekolah, serta memenuhi panduan piawaian *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) *Standard 55* yang menekankan pentingnya pengukuran melebihi dua jam dalam waktu representatif (ASHRAE 55, 2017). Lengkungan haba pagi hingga tengah hari telah diiktiraf sebagai fasa di mana ketidakselesaian termal mencapai puncak dalam kelas, seperti yang dibuktikan oleh beberapa kajian.

## 1.4 Kepentingan Kajian

Kajian ini signifikan dalam menyediakan asas saintifik dan teknikal bagi penilaian persekitaran termal bilik darjah berdasarkan jenis sistem pembinaan, khususnya antara bangunan konvensional dan Sistem Binaan Berindustri (IBS) jenis konkrit pratuang. Melalui nilai *Temperature-Humidity Index* (THI) yang dikira dari nilai suhu (°C) dan kelembapan relatif (%) yang dicerap, ia dapat memberikan gambaran awal terhadap tahap ketidakselesaian termal dalam kedua-dua jenis bangunan. Pendekatan ini bersifat praktikal dan relevan, terutama dalam konteks bangunan pendidikan di iklim tropika seperti Malaysia.

Dapatan kajian ini berpotensi dimanfaatkan oleh pihak berkepentingan seperti pentadbir sekolah, perancang fasiliti pendidikan, dan penggubal dasar dalam merangka strategi peningkatan kualiti infrastruktur pendidikan, sama ada untuk bangunan sedia ada mahupun yang akan dibina. Selain itu, hasil kajian ini turut boleh dijadikan rujukan teknikal dalam pembangunan reka bentuk bangunan pendidikan yang lebih mesra iklim, mampan, dan efisien dari segi tenaga, sekaligus menyumbang kepada peningkatan produktiviti serta kesejahteraan pengguna dalam jangka panjang.

Dapatan kajian ini dapat menghasilkan cadangan-cadangan dan garis panduan yang sesuai untuk mengatasi masalah ketidakselesaian termal dalam bangunan sekolah dan diharapkan dapat memberikan input berguna kepada perancang dan pereka bentuk bangunan

pendidikan ke arah mewujudkan persekitaran pembelajaran yang lebih selesa, mampan dan efisien.

## 2. Kajian Terdahulu

Kajian berkaitan keselesaan termal di bilik darjah sekolah yang terdahulu memberikan asas penting dalam memahami peranan faktor persekitaran dalaman seperti suhu dan kelembapan, serta pengaruh sistem pembinaan terhadap tahap keselesaan pengguna bangunan pendidikan. Azmi et al. (2021) dalam satu kajian ulasan ke atas bangunan pendidikan di Asia Tenggara menegaskan bahawa reka bentuk bangunan yang tidak disesuaikan dengan iklim tropika terutamanya dari segi strategi pengudaraan semula jadi dan pelaksanaan pendekatan pasif boleh menyebabkan pelajar mengalami ketidakselesaan haba. Penulis menggariskan pentingnya penggunaan sistem pengudaraan semula jadi dan penyesuaian pasif sebagai respons kepada ciri iklim tropika dalam konteks sekolah, sejajar dengan keperluan penilaian indeks ketidakselesaan seperti *Temperature-Humidity Index* (THI) berdasarkan cerapan suhu dan kelembapan relatif.

Nor Azli et al. (2023) menjalankan kajian di sekolah menengah di Johor, di mana bilik darjah berpengudaraan semula jadi dinilai dari segi aliran udara, suhunya, serta prestasi pelajar menggunakan ujian digit span dan reaksi ringkas. Dapatan menunjukkan bahawa ketidakselesaan termal terutamanya dalam keadaan aliran udara rendah dan suhu tinggi menjejaskan tumpuan dan prestasi pelajar secara nyata. Ini mengesahkan keperluan untuk kaedah penilaian praktikal seperti *Temperature-Humidity Index* (THI) berdasarkan cerapan suhu dan kelembapan relatif dalam bilik darjah.

Zaki dan Wahab (2016) pula menjalankan kajian di beberapa sekolah rendah di Malaysia dan mendapati bahawa kebanyakan bilik darjah tidak mencapai tahap keselesaan termal yang disarankan oleh piawaian seperti *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) *Standard 55*. Mereka mencadangkan pengubahsuaian reka bentuk serta penambahbaikan sistem pengudaraan sebagai antara strategi untuk mengurangkan ketidakselesaan termal.

Dari sudut sistem pembinaan, kajian oleh Othman dan Sapuan (2018) menyentuh tentang prestasi Sistem Binaan Berindustri (IBS) di Malaysia. Walaupun IBS memberikan kelebihan dari segi masa dan kos pembinaan, elemen seperti konkrit pratuang mempunyai keupayaan menyerap dan menyimpan haba, yang boleh meningkatkan suhu dalaman bilik darjah. Ini mewajarkan kajian lanjut terhadap perbezaan tahap ketidakselesaan termal antara bangunan IBS dan bangunan konvensional.

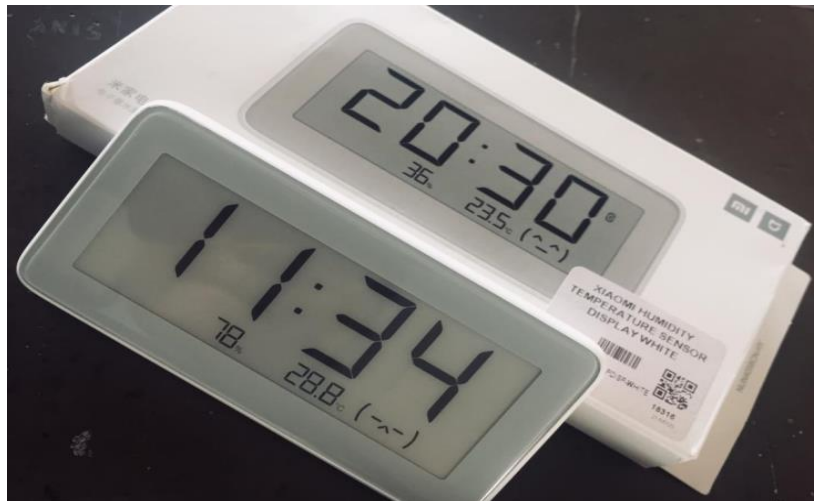
Kajian oleh Kasim et al. (2024) mengenai strategi reka bentuk pasif di Malaysia menegaskan bahawa keselesaan termal di bilik darjah dapat dipertingkatkan melalui pendekatan seperti orientasi bangunan yang strategik, penggunaan bahan mesra haba, dan penambahan bukaan untuk pengudaraan semula jadi. Penemuan ini menunjukkan hubungan rapat antara keselesaan termal dan keberkesanan pengajaran serta pembelajaran dalam iklim tropika, sekaligus menegaskan keperluan garis panduan reka bentuk yang lebih sesuai dengan iklim tempatan.

Menurut Fanger (1970), tahap keselesaan termal seseorang individu dipengaruhi oleh dua kategori utama iaitu faktor persekitaran dan faktor individu. Faktor persekitaran melibatkan suhu udara, suhu sinaran purata, kelembapan relatif, dan halaju udara, manakala faktor individu merangkumi tahap aktiviti fizikal (metabolik) dan jenis pakaian yang dipakai. Model ini menjadi asas kepada pelbagai piawaian antarabangsa, termasuk *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) *Standard 55*, dalam menentukan tahap keselesaan termal yang optimum. Pemahaman terhadap kombinasi faktor-faktor ini

sangat penting dalam menilai ketidakselesaan termal di ruang bilik darjah, khususnya dalam konteks iklim tropika yang panas dan lembap.

### 3. Metodologi Kajian

Kajian ini menggunakan reka bentuk kuantitatif dengan pendekatan cerapan lapangan. Pendekatan ini sesuai bagi menilai fenomena fizikal seperti persekitaran termal dalam bilik darjah berdasarkan data suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kelembapan relatif (%) yang diambil secara langsung menggunakan *Xiaomi Humidity Temperature Sensor*.



**Rajah 1:** *Xiaomi Humidity Temperature Sensor*

Alat ini memaparkan bacaan suhu dalam unit darjah Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kelembapan dalam peratus (% RH). Paparan masa pada skrin turut membantu dalam merekod bacaan mengikut jadual yang ditetapkan. Sensor ini dipilih kerana kebolehpercayaannya dalam pengesanan suhu dan kelembapan dengan ketepatan yang memadai untuk kajian dalam persekitaran bilik darjah.

**Jadual 1 :** Julat Suhu dan Kelembapan Relatif yang Mempengaruhi Keselesaan Termal di Bilik Darjah Tropika

| Masa / Keadaan Cuaca                      | Julat Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Julat Kelembapan Relatif (%) | Keselesaan Termal    | Sumber Rujukan                                                                             |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pagi (7:00 – 9:00 pagi)                   | 26 – 29                           | 80 – 90                      | Agak selesa          | Jabatan Meteorologi Malaysia (2021); Yau (2008)                                            |
| Tengah hari (12:00 – 2:00 petang)         | 30 – 33                           | 65 – 75                      | Kurang selesa        | ASHRAE <i>Standard 55</i> (2017)                                                           |
| Petang (4:00 – 6:00 petang)               | 29 – 31                           | 70 – 80                      | Sedikit tidak selesa | Ghazali & Abdul-Rahman (2015)                                                              |
| Dalam bangunan biasa tanpa penyaman udara | 28 – 31                           | 70 – 85                      | Pelbagai tahap       | Che-Ani et al. (2010); Zaki & Wahab (2016)                                                 |
| Dalam bilik darjah berhawa dingin         | 23 – 26                           | 50 – 65                      | Selesa               | Yau (2008); ASHRAE <i>Standard 55</i> (2017)                                               |
| Julat Suhu & RH Terbaik untuk Keselesaan  | 24 – 27                           | 50 – 70                      | Optimum              | Disarankan oleh ASHRAE <i>Standard 55</i> (2017); Fanger (1970); Ghazali & A-Rahman (2015) |

Pencerapan data dijalankan di dua buah bilik darjah di Sekolah Kebangsaan Sura, Dungun, Terengganu, iaitu bilik darjah yang terletak di bangunan konvensional (Kelas 5 Al-Jazzar) dan bangunan IBS sistem konkrit pratuang (Kelas 6 Al-Battani). Cerapan dijalankan pada hari Jumaat dan Sabtu sepanjang bulan Ogos hingga Oktober 2024.

Pencerapan dibuat secara berselang setiap 30 minit bermula jam 7.30 pagi hingga 1.30 petang, bersesuaian dengan waktu persekolahan biasa. Setiap bilik darjah diletakkan satu unit sensor di lokasi tetap dan tidak terhalang bagi memastikan ketepatan bacaan. Jadual pencerapan disediakan bagi memudahkan data yang dicerap dalam kajian ini dicatat secara sistematik.

Data suhu dan kelembapan relatif yang diperoleh kemudiannya digunakan untuk mengira nilai *Temperature-Humidity Index* (THI). THI merupakan indeks mudah yang digunakan secara meluas bagi menilai tahap ketidakselesaan termal dalam persekitaran tropika.

Nilai THI dapat menilai dan membandingkan tahap ketidakselesaan termal secara kuantitatif. Melalui pengiraan THI, kajian ini dapat memberikan gambaran awal tentang perbezaan tahap ketidakselesaan termal antara bilik darjah dalam dua jenis bangunan tersebut.

Data suhu dan kelembapan relatif yang dikumpul dianalisis menggunakan formula *Temperature-Humidity Index* (THI) (1), seperti berikut:

$$THI = T - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (T - 14.5)] \quad (1)$$

di mana:

T = suhu udara dalam darjah Celsius (°C)

RH = kelembapan relatif dalam peratus (%)

Nilai THI yang diperoleh akan dikategorikan mengikut tahap ketidakselesaan termal berdasarkan rujukan piawaian. THI digunakan sebagai penunjuk awal yang praktikal bagi menilai keselesaan atau ketidakselesaan dalam persekitaran dalaman, terutamanya di kawasan tropika.

Untuk mentafsir nilai THI yang diperoleh, kajian ini merujuk kepada kategori tahap ketidakselesaan yang telah disesuaikan dengan iklim tropika, seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2. Penyesuaian ini dibuat berdasarkan rujukan daripada literatur terdahulu seperti Ghazali dan Abdul-Rahman (2015), serta panduan daripada ASHRAE Standard 55 (2017).

**Jadual 2 : Kategori Tahap Ketidakselesaan Termal Berdasarkan THI**

| Julat THI | Tahap Ketidakselesaan Termal | Interpretasi                                |
|-----------|------------------------------|---------------------------------------------|
| < 21      | Selesa (Amat Sesuai)         | Tiada kesan ketidakselesaan termal dirasai  |
| 21 – 23   | Selesa                       | Suasana sesuai untuk aktiviti pembelajaran  |
| 23.1 – 26 | Sedikit Tidak Selesa         | Suasana mula terasa panas dan lembap        |
| 26.1 – 28 | Tidak Selesa                 | Kesan terhadap tumpuan dan prestasi pelajar |
| > 28      | Sangat Tidak Selesa          | Suasana panas dan lembap yang ketara        |

THI ialah indeks yang mengukur tahap tekanan haba atau ketidakselesaan berdasarkan suhu dan kelembapan relatif. Semakin tinggi nilai THI, semakin tidak selesa seseorang akan rasa dalam persekitaran itu. Jadi, THI lebih menggambarkan tahap beban haba atau ketidakselesaan berbanding tahap keselesaan.

## 4. Dapatan Kajian

### 4.1 Analisa Nilai Purata Suhu dan Kelembapan Relatif

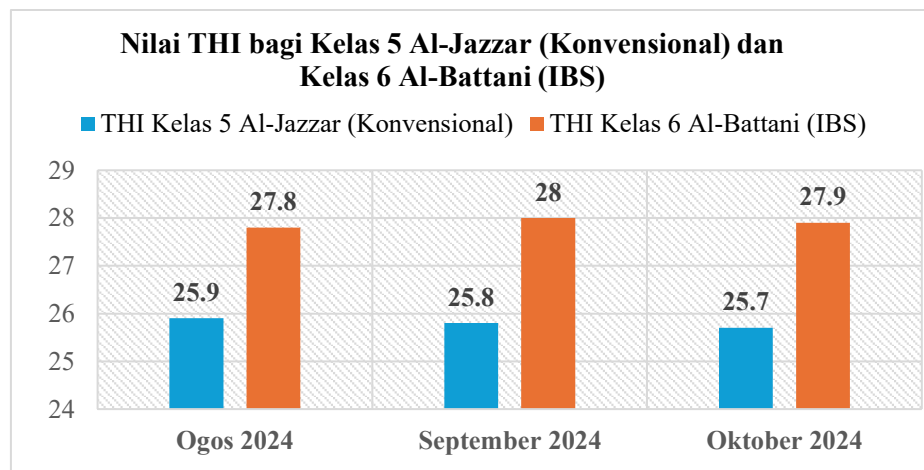
Jadual berikut menunjukkan purata bacaan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kelembapan relatif (%) yang dicerap bagi setiap bilik darjah sepanjang tempoh kajian:

**Jadual 3 : Purata Suhu dan Kelembapan Relatif**

| Kelas                      | Purata Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Purata Kelembapan Relatif (%) |
|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 5 Al-Jazzar (Konvensional) | 28.7                               | 63                            |
| 6 Al-Battani (IBS)         | 31.3                               | 65                            |

Berdasarkan Jadual 3 di atas, didapati bahawa bilik darjah di bangunan konvensional (Kelas 5 Al-Jazzar) mempunyai suhu yang lebih rendah iaitu  $28.7^{\circ}\text{C}$  berbanding bilik darjah IBS (Kelas 6 Al-Battani) yang mencatatkan suhu purata  $31.3^{\circ}\text{C}$ . Walaupun kelembapan relatif bagi Kelas 5 Al-Jazzar sedikit lebih rendah iaitu 63% berbanding 65% di Kelas 6 Al-Battani, kombinasi suhu dan kelembapan ini memberi kesan langsung terhadap nilai indeks ketidakselesaan termal (THI) bagi setiap kelas.

### 4.2 Perbandingan Nilai THI antara kelas berkonsepkan Konvensional dan IBS



**Rajah 2:** Nilai THI antara kelas berkonsepkan Konvensional dan IBS bagi bulan Ogos hingga Oktober 2024

Rajah 2 menunjukkan perbandingan nilai purata THI bagi Kelas 5 Al-Jazzar (Konvensional) dan Kelas 6 Al-Battani (IBS) dari Ogos hingga Oktober 2024. Sepanjang tempoh ini, Kelas 5 Al-Jazzar mencatatkan nilai THI yang lebih rendah antara 25.7 hingga 25.9, yang berada dalam kategori “sedikit tidak selesa”. Sebaliknya, Kelas 6 Al-Battani merekodkan nilai THI lebih tinggi iaitu antara 27.8 hingga 28.0, yang tergolong dalam kategori “tidak selesa”. Perbezaan ini menunjukkan bahawa bilik darjah di bangunan konvensional lebih sejuk dan selesa berbanding IBS. Faktor seperti bahan binaan dan pengudaraan semula jadi mungkin menyumbang kepada perbezaan ini. Oleh itu, reka bentuk dan bahan bangunan perlu diberi perhatian untuk meningkatkan keselesaan di bilik darjah.

### 4.3 Analisis Nilai Purata Temperature-Humidity Index (THI)

Purata THI yang diperoleh menunjukkan bahawa bilik darjah di bangunan konvensional (Kelas 5 Al-Jazzar) mencatatkan nilai THI yang lebih rendah berbanding bangunan IBS (Kelas 6 Al-Battani). Berdasarkan purata bacaan, nilai THI diperoleh seperti berikut:

**Jadual 4 : Purata *Temperature-Humidity Index* (THI)**

| Kelas                         | Purata THI | Tahap Ketidakselesaian Termal |
|-------------------------------|------------|-------------------------------|
| 5 Al-Jazzar<br>(Konvensional) | 25.8       | Sedikit Tidak Selesa          |
| 6 Al-Battani (IBS)            | 27.9       | Tidak Selesa                  |

Keputusan ini menunjukkan bahawa walaupun kelembapan relatif bagi kedua-dua kelas adalah hampir sama, perbezaan suhu yang lebih tinggi di Kelas 6 Al-Battani telah menyumbang kepada nilai THI yang lebih tinggi. Ini menunjukkan bahawa suhu memainkan peranan yang lebih signifikan berbanding kelembapan relatif dalam menentukan tahap ketidakselesaian termal dalam persekitaran bilik darjah di kawasan tropika.

## 5. Perbincangan

Perbezaan nilai THI antara bilik darjah konvensional dan IBS memberi gambaran bahawa faktor reka bentuk dan bahan binaan memberi impak terhadap keselesaan termal dalam bilik darjah. Bangunan konvensional menunjukkan prestasi termal yang lebih baik dengan nilai THI yang lebih rendah, berkemungkinan disebabkan oleh reka bentuk yang lebih terbuka atau penggunaan bahan binaan yang kurang menyerap haba. Sebaliknya, struktur IBS jenis konkrit pratuang cenderung memerangkap haba, menyebabkan peningkatan suhu dalaman dan seterusnya nilai THI yang lebih tinggi.

Dapatan ini selari dengan kajian oleh Ghazali dan Abdul-Rahman (2015) yang menyatakan bahawa reka bentuk bangunan dan bahan binaan memainkan peranan penting dalam menentukan tahap keselesaan termal bilik darjah. Tambahan pula, menurut *Fanger* (1970), suhu udara dan kelembapan relatif merupakan antara faktor utama yang mempengaruhi keselesaan termal, dan dapatan kajian ini menyokong teori tersebut.

Kajian oleh Zaki & Wahab (2016) menyokong dapatan ini, yang menyatakan bahawa sistem pembinaan dan reka bentuk bangunan memainkan peranan penting dalam keselesaan termal bilik darjah.

## 6. Kesimpulan & Cadangan

### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulannya, hasil kajian menunjukkan bahawa bilik darjah di bangunan konvensional (Kelas 5 Al-Jazzar) mencatatkan nilai purata THI yang lebih rendah berbanding bilik darjah di bangunan IBS (Kelas 6 Al-Battani). Perbezaan ini dipengaruhi oleh suhu dalaman yang lebih rendah di bangunan konvensional meskipun kelembapan relatifnya sedikit lebih tinggi. Dapatan ini mengukuhkan anggapan bahawa, dalam persekitaran tropika yang panas dan lembap, suhu udara memainkan peranan yang lebih signifikan berbanding kelembapan relatif dalam menentukan tahap ketidakselesaian termal.

Secara keseluruhan, kajian ini menyimpulkan bahawa sistem pembinaan konvensional menunjukkan prestasi termal yang lebih baik berbanding sistem IBS dalam konteks bilik darjah sekolah rendah di kawasan tropika seperti Dungun, Terengganu. Keupayaan sistem konvensional mengekalkan suhu yang lebih rendah menyumbang kepada persekitaran pembelajaran yang lebih selesa dan kondusif.

Kajian ini memberikan asas yang kukuh untuk penambahbaikan reka bentuk serta strategi pengurusan bangunan pendidikan di Malaysia. Dapatan yang diperoleh berpotensi dimanfaatkan oleh pihak berkepentingan seperti Kementerian Pendidikan Malaysia, perancang bandar, arkitek dan jurutera bangunan dalam merangka penyelesaian reka bentuk yang lebih mampan, dengan penekanan terhadap keselesaan terma dan kesejahteraan pelajar dalam persekitaran pembelajaran beriklim tropika.

## 6.2 Cadangan

Berikut ialah beberapa cadangan-cadangan yang sesuai untuk mengurangkan masalah ketidakselesaan terma pada bangunan sekolah berdasarkan dapatan kajian:

### 6.2.1 Reka Bentuk Bangunan Pendidikan

Kajian ini mencadangkan agar reka bentuk bangunan sekolah mengambil kira aliran udara semula jadi dan penggunaan bahan binaan yang lebih mesra haba bagi mengurangkan suhu dalaman, terutamanya untuk sistem IBS.

### 6.2.2 Peningkatan Pengudaraan Semula Jadi

Penambahan bukaan seperti tingkap yang bersilang dan penggunaan alat pengudaraan pasif boleh membantu melancarkan aliran udara dalam bilik darjah, sekali gus mengurangkan tahap ketidakselesaan termal.

### 6.2.3 Pemasangan Penebat Haba

Penggunaan material penebat haba pada bumbung dan dinding dapat mengurangkan penyerapan haba yang tinggi, terutamanya pada bangunan IBS yang lebih terdedah kepada peningkatan suhu dalaman.

### 6.2.4 Penyelidikan Susulan

Kajian lanjutan yang merangkumi parameter tambahan seperti halaju udara, suhu sinaran purata dan faktor tingkah laku murid adalah digalakkan bagi menilai keselesaan termal secara lebih komprehensif.

Cadangan-cadangan ini diharap dapat membantu pihak berkenaan dalam mereka bentuk dan menaik taraf bangunan sekolah yang lebih selesa dan kondusif untuk proses pengajaran dan pembelajaran.

## Rujukan

- Aparicio-Ruiz, P., Fabbri, K., & Ascione, F. (2024). *Thermal comfort in educational buildings: A systematic review of indoor and outdoor influencing variables in warm climates*. *Building and Environment*, 244, 111445. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111445>
- ASHRAE. (2017). *Thermal environmental conditions for human occupancy* (ANSI/ASHRAE Standard 55). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Azmi, N. A. A., Abdul Tharim, A. H., & Yusof, M. Z. (2021, September 29–30). *A review on thermal comfort in educational buildings of Southeast Asia region*. In *Virtual Go-Green: Conference and Publication (V-GoGreen 2020)* (pp. 409–419). *Universiti Teknologi MARA (UiTM)*.
- Che-Ani, A. I., Tahir, M. M., Tawil, N. M., & Surat, M. (2010). Thermal comfort study in classroom: A case study. *Journal of Sustainable Development*, 3(4), 171–179.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill.

- Ghazali, A. H., & Abdul-Rahman, H. (2015). Thermal comfort in tropical schools. *Journal of Building Performance*, 6(1), 30–39.
- Izquierdo, A., Llorens, J. I., Martínez, D., & Cárcel, A. C. (2022). *Thermal comfort in classrooms: A review focused on warm and hot climates*. *Energy and Buildings*, 266, 112124. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112124>
- Jabatan Meteorologi Malaysia. (2021). *Laporan iklim Malaysia tahunan 2021*. Kementerian Alam Sekitar dan Air. [Jika tiada URL rasmi, anda boleh nyatakan “Sumber dalaman” atau “tidak diterbitkan”]
- Kasim, Z., Md. Nor, A. Z., Vongpraseuth, T., & Daud, B. (2024). *Enhancing indoor thermal comfort through passive design strategies in a hot-humid climate: A case study of Anjung Kelana, Malaysia*. *Politeknik & Kolej Komuniti Journal of Engineering and Technology*, 9(2), 38–50.
- Kim, Y., Shin, Y., & Cho, H. (2021). *The effects of personal and environmental factors on thermal comfort in classrooms*. *Sustainability*, 13(6), 3456. <https://doi.org/10.3390/su13063456>
- Mohamed, M. F., Abdullah, M. R., & Rahman, M. A. (2019). IBS implementation in Malaysia: The challenges and strategies. *Journal of Construction Engineering*, 12(1), 45–53.
- Nor Azli, M. N. A., Hariri, A., Chong, Z. Y., Khasri, M. A., Damanhuri, A. A. M., Mustafa, M. S., & Kabrein, H. (2023, May). *Influence of air velocity on thermal comfort and performance of students in naturally ventilated classrooms in tropical climate*. *Dalam Proceedings of IAQVE C2023, Tokyo*.
- Othman, A. R., & Sapuan, S. M. (2018). Performance of IBS in Malaysian construction industry. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4), 500–507.
- Yau, Y. H. (2008). Thermal comfort study in an air-conditioned university building: A case study in the tropics. *Building and Environment*, 43(9), 1391–1397.
- Zaki, S. A., & Wahab, S. N. A. (2016). Kajian keselesaan termal di sekolah rendah di Malaysia. *Jurnal Alam Bina*, 8(2), 33–40.